assainissement de l'environnement

# Valorisation agricole des boues traitées à la chaux

Québec

NOTE: Les opinions exprimées dans ce document n'engagent que la responsabilité des auteurs et non celle du ministère de l'Environnement du Québec.

**PROGRAMME D'AIDE À LA RECHERCHE ET AU DÉVELOPPEMENT EN ENVIRONNEMENT**

# Valorisation agricole des boues traitées à la chaux

par

Urgel Delisle et Associés

pour

le Bureau de coordination de la recherche et du développement et
la Direction de l'assainissement agricole
Ministère de l'Environnement du Québec

Octobre 1988
Révisé janvier 1989

90-01923/

Dépôt légal - 2e trimestre 1989
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
ISBN 2-550-19890-5

Envirodoq 890309
QEN/AE-46/1

Auteurs: Michel S. Cournoyer, ing. & agr.
Pierre Julien, agr.
révisé par: Urgel Delisle, ing. & agr.
Urgel Delisle et Associés
426, chemin des Patriotes
Case postale 60
Saint-Charles-sur-Richelieu (Québec)
JOH 2GO

Cette étude a été subventionnée par le ministère de l'Environnement du Québec.

Ce rapport a été présenté au Comité d'échanges technologiques en assainissement des eaux, Environnement Canada et ministère de l'Environnement du Québec.

Mots clés: Boues d'épuration, valorisation agricole, traitement à la chaux, boues chaulées, amendement calcaire.

# TABLE DES MATIERES


REMERCIEMENTS.....i

RESUME ADMINISTRATIF.....ii

1. INTRODUCTION.....1

2. PROBLEMATIQUE ET MISE EN SITUATION.....3

2.1. Situation générale.....3
2.2. Valorisation agricole.....4
2.3. Le chaulage, une avenue.....4
2.4. Mise en situation.....7

3. OBJECTIFS.....13

4. CADRE D'APPLICATION.....14

5. MATERIEL ET METHODES.....15

6. RESULTATS ET ANALYSES.....21

6.1. Analyse de la chaux.....21
6.2. Observations générales lors de la déshydration.....21

6.2.1. Déshydratation des boues non chaulées.....22
6.2.2. Déshydratation de la boue chaulée Cond 300.....23
6.2.3. Déshydratation de la boue chaulée Cond 500.....24

6.3. Analyses chimiques des boues: Présentation des résultats.....25

6.3.1. Evolution du pH.....28
6.3.2. Evolution du taux de matière sèche.....32
6.3.3. Matière organique.....33
6.3.4. Azote.....35
6.3.5. Phosphore, Potassium, Calcium et Magnésium présents dans les boues.....37
6.3.6. Valeur en amendement calcaire des boues.....40
6.3.7. Les métaux lourds présents dans les boues.....43

6.4. Valeur fertilisante et valeur en amendement calcaire...46

6.5 Analyse physique des boues.....53

6.5.1. Entreposage au froid.....53
6.5.2. Essais de drainage.....55
6.5.3. Essais d'hydratation et de lessivage.....57
6.5.4. Qualité du lixiviat.....61
6.5.5. Observations visuelles au drainage et au lessivage...66
6.5.6. Entreposage en tas à l'extérieur.....67
6.5.7. Affaissement et angle de repos.....70

## TABLE DES MATIERES (Suite)


6.6. Implications environnementales.....71
6.7. Discussion sur l'entreposage et le transport.....73
6.8. Discussion sur l'apparence et la maniabilité.....78
6.9. Manutention à l'épandage.....80

7. CONSIDERATIONS ECONOMIQUES.....85

7.1. Valeur économique liée au contenu des boues en fertilisant et amendement calcaire.....85
7.2. Implication économique concernant la manutention des boues chaulées en agriculture .....90
7.3. Coûts à l'usine.....97
7.4. Synthèse économique générale.....102

8. CONSIDERATIONS, CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....113

DOCUMENTS DE REFERENCES

ANNEXES: Voir document intitulé "ANNEXES AU RAPPORT FINAL"

## LISTE DE FIGURE


| | | Page |
|---|---|---|
| Figure 5.1 | Traitements effectués | 17 |

## LISTE DES TABLEAUX


| | | | Page |
|---|---|---|---|
| Tableau 6.1 | : | Analyse des boues et du filtrat lors de la déshydratation. | 22 |
| Tableau 6.2 | : | Résultats globaux d'analyse de chaux, de boues et de filtrat; échantillonnage de la boue effectué 24 heures et une semaine après ajout de la chaux. | 26 |
| Tableau 6.3 | : | Composition de la chaux, des boues et du filtrat en métaux lourds et autres éléments mineurs, échantillonnage de la boue effectué une semaine après l'ajout de la chaux (mg/kg de matière sèche). | 27 |
| Tableau 6.4 | : | Valeurs de pH mesurées dans les boues et les filtrats. | 31 |
| Tableau 6.5 | : | Taux de matière sèche des boues liquides et déshydratées (% de matière sèche total). | 32 |
| Tableau 6.6 | : | Matières solides et volatiles totales, carbone organique total et rapport C/N des boues. | 35 |
| Tableau 6.7 | : | Azote présent dans les boues. | 37 |
| Tableau 6.8 | : | Phosphore, potassium, calcium et magnésium présents dans les boues. | 40 |

## LISTE DES TABLEAUX (Suite)


Tableau 6.9 : Valeur en amendement calcaire des boues selon calcul théorique et résultats d'analyses. 43

Tableau 6.10 : Composition des boues liquides et déshydratées en métaux lourds (mg/kg de matière sèche). 45

Tableau 6.11 : Valeur fertilisante et valeur en amendement calcaire des boues; quantités nécessaires (t.m.s./ha) pour combler les besoins indiqués. 48

Tableau 6.12 : Quantités de boues nécessaires pour combler 100% des besoins en azote dans le maïs; proportion des besoins comblés en $P_2O_5$, $K_2O$ et amendement calcaire. 49

Tableau 6.13 : Quantités de boues nécessaires pour combler 100% des besoins en azote dans l'orge; proportion des besoins comblés en $P_2O_5$, $K_2O$ et amendement calcaire. 49

Tableau 6.14 : Quantités de boues nécessaire pour combler 100% des besoins moyens en CaCO3; proportion des besoins comblés en N, $P_2O_5$ et $K_2O$ pour la culture du maïs et de l'orge. 50

## LISTE DES TABLEAUX (Suite)


Tableau 6.15 : Volumes de drainage des boues congelées et non congelées. 55

Tableau 6.16 : Résultats des essais de drainage. 60

Tableau 6.17 : Résultats des essais d'hydratation et de lessivage. 60

Tableau 6.18 : Qualité du lixiviat après les essais de drainage. 64

Tableau 6.19 : Qualité du lixiviat après les essais d'hydratation et de lessivage. 64

Tableau 6.20 : Caractéristiques du lixiviat de l'essai de drainage du COND 300 et des boues COND 300 complètes. 65

Tableau 6.21 : Affaissement et angle de repos. 71

Tableau 7.1 : Valeur monétaire par tonne de matière sèche et par tonne de boue (taux de matière sèche réel); valeur en N, $P_2O_5$, $K_2O$ et $CaCO_3$. 86

Tableau 7.2 : Valeur des fertilisants et amendements calcaires apportéspar les boues: dose d'épandage basée sur un apport à tous les cinq ans couvrant 100% des besoins en $CaCO_3$ avec culture de maïs ($/ha). 87

## LISTE DES TABLEAUX (Suite)


| | | | |
|---|---|---|---|
| Tableau 7.3 | : | Valeur des fertilisants et amendements calcaires apportés par les boues: dose d'épandage basée sur un apport à tous les cinq ans couvrant 100% des besoins en azote avec culture d'orge ($/ha). | 89 |
| Tableau 7.4 | : | Coût d'utilisation des équipements à la ferme et coût à forfait pour l'épandage de fumier d'animaux. | 94 |
| Tableau 7.5 | : | Comparaison des prix actuels de manutention des boues et de chaux selon diverses sources. | 95 |
| Tableau 7.6 | : | Etablissement des coûts probables pour fins de comparaisons. | 96 |
| Tableau 7.7 | : | Quelques coûts impliqués à l'usine pour le chaulage des boues | 101 |
| Tableau 7.8 | : | Effets du chaulage en stabilisation sur les coûts, le volume et la siccité selon deux taux de m.s.t. initial | 101 |
| Tableau 7.9 | : | Economie de manutention des boues stabilisées en milieu agricole versus au site d'enfouissement selon deux taux de m.s.t. | 108 |
| Tableau 7.10 | : | Bilan économique global d'utilisation de la chaux | 109 |

## LISTE DES SYMBOLES

| | | |
|---|---|---|
| BDNC | : | Boues déshydratées non chaulées |
| BLNC | : | Boues liquides non chaulées |
| BNC | : | Boues non chaulées |
| C/N | : | Rapport C/N, carbone organique total sur azote total KJELDAHL. |
| Cond 300 | : | Boues chaulées en conditionnement, dose: 300 kg CaO/t.m.s. |
| Cond 500 | : | Boues chaulées en conditionnement, dose: 500 kg CaO/t.m.s. |
| COT | : | Carbone organique total |
| ECC | : | Equivalents carbonates de calcium, chiffre représentant le pouvoir neutralisant en pourcentage par rapport au CaCO3 |
| K | : | Potassium total |
| MES | : | Matières en suspension |
| MST | : | Matières solides totales |
| m.s.t. | : | Matière sèche totale |
| MVT | : | Matières volatiles totales |
| N disp | : | Azote disponible. |
| NH4 | : | Azote ammoniacal |
| NO2-NO3 | : | Nitrites et nitrates |
| NTK | : | Azote total KJELDAHL |
| O-PO4 | : | Ortho Phosphates (phosphates solubles à l'eau) |
| PPM | : | Parties par million; dans ce document, cette unité fait toujours référence à une teneur en matière sèche (mg/kg de matière sèche) |
| P tot | : | Phosphore total |
| Stab 300 | : | Boues chaulées en stabilisation, dose: 300 kg CaO/t.m.s. |
| Stab 500 | : | Boues chaulées en stabilisation, dose: 500 kg CaO/t.m.s. |
| T°C | : | Température en degrés Celcius |
| t.m.s. | : | Tonnes de matière sèche |
| V.A.C | : | Valeur en amendement calcaire |

**REMERCIEMENTS**

Nous tenons à remercier les membres du comité d'échanges technologiques en assainissement des eaux pour l'intérêt qu'ils ont manifesté dans ce projet et le support qu'ils ont apporté principalement face aux incertitudes qui prévalaient au début du projet.

Nous tenons aussi à remercier le directeur général de la ville de Saint-Hyacinthe ainsi que M. Cusson, chef du service du génie de la ville de Saint-Hyacinthe, pour nous avoir permis d'utiliser les installations de l'usine d'épuration de cette ville. En l'occurrence, nous voulons souligner l'excellente collaboration obtenue de M. Pierre Audet, surintendant de l'usine, ainsi que de toute son équipe, de même que la compréhension manifestée par M. Gaétan Bourdage et Mme Edna Boisselle de la firme Pélémon, opérateurs de la station d'épuration.

Enfin, la firme R.B. Inspections, propriété de M. Rosaire Baillargeon s'est montrée d'un grand support et plein de ressources afin de tirer le maximum d'informations durant la partie de la déshydratation.

La bonne collaboration de chacun de ces intervenants a grandement facilité la réalisation du projet menant à la rédaction de ce rapport.

## RESUME ADMINISTRATIF

Selon les procédés utilisés certaines stations d'épuration du Québec produisent des boues définies comme étant "non stabilisées". De telles boues sont inaptes à la valorisation agricole à cause des dangers de contamination de l'eau, des sols et des plantes, principalement par les pathogènes. L'ajout de chaux aux boues non stabilisées est une technique largement répandue en Europe ce qui permet, par l'augmentation du pH à plus de 12, d'hygiéniser les boues et ainsi les stabiliser pour les rendre aptes à la valorisation agricole tout en diminuant aussi les odeurs.

D'autre part, une grande proportion des sols cultivés au Québec ont un besoin important et continuel d'amendement calcaire sous forme de chaux. Pour cette raison, l'expérience européenne montre une très bonne réceptivité des boues chaulées de la part des agriculteurs qui y voient une source importante d'amendement calcaire pour leurs sols.

L'application de cette technique est encore inexistante au Québec de sorte qu'il n'existe aucune donnée pratique sur les caractéristiques agricoles des boues chaulées et leurs implications dans les conditions de notre milieu (climat, type de boue, de chaux).

Les objectifs du présent projet visaient à vérifier si des boues non stabilisées peuvent être rendues aptes à la valorisation agricole par le chaulage, à vérifier la faisabilité de la technique, à acquérir des connaissances et des données préliminaires essentielles sur les qualités agronomiques, les caractéristiques physiques et chimiques, le comportement et l'utilisation du produit en vue de sa valorisation agricole; à identifier les problèmes et solutions touchant la manipulation du produit (transport, entreposa-

ge, reprise, épandage), à étudier de façon préliminaire les conséquences économiques pour l'agriculture (sans soulever les coûts d'infrastructures à l'usine) et déterminer les techniques de chaulage et la dose la plus valable; ceci afin d'orienter les futures étapes de développement.

Ce projet est de type banc d'essais et des installations peu élaborées ont été utilisées dans le seul but d'obtenir les quantités de boues chaulées nécessaires. Mentionnons que cette étude est réalisée sur une très petite échelle, que les quantités étudiées sont faibles et que les conclusions sont tirées d'un nombre limité d'analyses, sans répétition.

Seules des boues chaulées déshydratées ont été étudiées. En se basant sur les principes en vigueur en Europe, deux techniques de chaulage ont été utilisées: l'ajout de la chaux en conditionnement (chaux hydratée ajoutée avant la déshydratation des boues) et, l'ajout de la chaux en stabilisation (chaux vive ajoutée après la déshydratation). Deux doses ont été préparées pour chaque technique, soit 300 et 500 kg CaO/t.m.s.

Le projet a été effectué à la station de St-Hyacinthe laquelle produit des boues non stabilisées. Pour éviter toute modification à l'usine, une unité mobile de déshydratation a été utilisée.

Dans un premier temps des échantillons ont été analysés pour connaître l'état d'hygiénisation et les caractéristiques agronomiques et fertilisantes du produit. Sans s'y limiter, les informations recueillies étaient: la valeur en amendement calcaire (CaO), pH, N, P,K, perte et volatilisation de l'azote, les métaux lourds, la matière organique et l'humidité. Dans un deuxième temps, les caractéristiques physiques ont été étudiées à l'aide d'essais et par une revue de littérature pour présager des pro-

blèmes et solutions touchant l'utilisation agricole de ces boues (transport, entreposage, reprise et épandage). Les principaux essais touchent l'entreposage au froid et décongélation; un essai de drainage et d'égouttement, l'hydratation et le lessivage pour simuler la pluie; l'entreposage en tas à l'extérieur; l'affaissement et l'angle de repos; la dureté; la densité; l'apparence et la maniabilité. Une étude économique sommaire sur les aspects agricoles a ensuite été effectuée.

Les résultats obtenus ont démontré que:

- Le chaulage des boues d'épuration en vue de leur utilisation en agriculture s'avère tout à fait réalisable et permet une hygiénisation efficace.

- Cette technique présente plusieurs avantages, tant pour l'agriculture que pour les responsables de l'épuration des eaux.

- Ce procédé permet d'obtenir un matériel contenant une proportion très importante d'éléments nécessaires à l'agriculture.

- Le dosage envisagé apparaît intéressant en terme d'amendements calcaire et chimique pour l'agriculteur; ces amendements représentent de plus des économies très intéressantes.

- L'apparence du produit et son application sur la ferme devraient amener une bonne acceptation du milieu agricole.

- Cette valorisation agricole (ne prenant pas en compte les infrastructures et l'opération à l'usine) peut être économiquement rentable.

- Du point de vue environnemental cette option offre des avantages très intéressants.

Suite à cette étude, il est recommandé

- de considérer le chaulage des boues comme une technique de valorisation agricole;

- de réaliser un projet pilote pour mécaniser le procédé et en démontrer l'application en agriculture;

- d'effectuer des bancs d'essais (similaires à ceux réalisés à St-Hyacinthe) dans d'autres usines; et

- d'entreprendre des recherches sectorielles relatives aux amendements calcaires et chimiques.

Les considérations, conclusions et recommandations détaillées sont présentées dans le chapitre 8 du présent rapport.

# 1. INTRODUCTION

Le présent projet d'étude a été octroyé à Urgel Delisle et Associés, suite à une proposition de recherche intitulée: "Valorisation agricole des boues traitées à la chaux". Cette proposition a été présentée au Comité d'Echange Technologique en Assainissement des Eaux dans le cadre du programme d'aide à la recherche et au développement en environnement.

Avec la production de plus en plus grande de boues provenant des usines d'épuration, diverses méthodes d'élimination sont recherchées et notamment, leur valorisation agricole. L'utilisation des boues comme fertilisant est certes une avenue plus intéressante que la simple élimination dans un site d'enfouissement.

Le chaulage des boues, presqu'inexistant au Canada mais plus développé en Europe, s'avère une technique très intéressante et prometteuse puisqu'elle semble avoir de nombreux avantages tant pour l'usine que pour l'agriculture, favorisant davantage le rapprochement psychologique entre l'agriculteur et l'usine, de façon à mieux équilibrer la demande avec l'offre pour l'élimination des boues.

La présente étude vise à connaître la valeur et les qualités agronomiques des boues chaulées puisque la pratique de cette technique est à toute fin pratique inexistante au Canada. La présente étude réalisée sur une base très réduite vise à obtenir des informations préliminaires mais essentielles sur les implications agricoles de la technique du chaulage des boues.

Il s'agit donc d'une étude principalement effectuée en atelier et basée sur un faible nombre d'analyses en laboratoire, à partir desquelles sera basée toute une série de réflexions à caractère agricole. Ces données préliminaires pourront donc servir éventuellement à orienter les étapes futures de développement afin d'appliquer, s'il y a lieu, cette technique à plus grande échelle. Ainsi, les sections qui suivent présentent des résultats d'ordre agronomique, économique et touchent aussi l'aspect pratique de la manipulation du produit.

Enfin, il est important de mentionner que tous les faits saillants et les conclusions sont énoncés suite à l'analyse de boues non stabilisées et que ces recommandations pourraient être différentes pour un autre type de boues.

Les pages qui suivent présentent donc tous les résultats obtenus ainsi que la méthodologie utilisée et ne font qu'un survol des implications du chaulage à l'usine puisqu'il s'agit principalement d'une étude visant l'aspect agricole de l'utilisation de la chaux dans les boues.

## 2. PROBLEMATIQUE ET MISE EN SITUATION

### 2.1. Situation générale

Depuis quelques années, il se construit au Québec de nombreuses usines de traitement des eaux usées, tant dans les grandes villes que dans les plus petites municipalités.

Un trait commun à toutes ces stations d'épuration, est la production de boues, lesquelles sont évacuées à différentes concentrations et à des rythmes différents.

Les boues produites sous forme liquide, peuvent être partiellement déshydratées afin de réduire les coûts d'entreposage, de transport et les frais associés à l'enfouissement.

Dans certains types d'usines, les boues produites par les systèmes en continu ne sont pas toujours jugées "stabilisées", c'est-à-dire qu'elles font l'objet d'une activité microbiologique intense et qu'on risque d'y retrouver des organismes pathogènes.

Ces boues non stabilisées, telles qu'elles sont produites par certaines usines au Québec, présentent un potentiel de contamination de l'environnement et sont ainsi inaptes à la valorisation agricole. De plus, ces boues ont aussi le désavantage de dégager des odeurs désagréables autour de l'usine, lors du transport et de l'élimination au site d'enfouissement.

## 2.2. Valorisation agricole

Au Québec depuis quelque temps, à cause des volumes produits, des coûts d'enfouissement et parce que les boues possèdent une certaine valeur agricole, on tend à vouloir recycler les boues en agriculture. La valorisation agricole permettrait aux stations d'éliminer les boues tout en permettant la fertilisation des sols.

La valorisation agricole semble à première vue une voie à suivre. Toutefois, pour éviter les dangers de contamination de l'environnement (eau, sol et air) il est essentiel que les boues soient relativement stabilisées ou inertes.

Cependant, les boues quelles qu'elles soient risquent de ne représenter qu'un intérêt mitigé pour l'agriculteur. En effet, la dose d'épandage est limitée par la teneur en azote des boues. Il est recommandé de ne pas dépasser une dose équivalente à 135 kg N/ha à tous les cinq ans. De plus, à cause du risque de toxicité et de l'apparence du produit, certains agriculteurs peuvent être réticents à utiliser un produit qu'ils ne connaissent pas. A cause de la siccité et de la viscosité du produit, l'entreposage en tas au champ, la reprise et le dosage uniforme en quantité limitée peuvent s'avérer problématiques.

## 2.3. Le chaulage, une avenue

L'utilisation de la chaux, sous forme vive ou éteinte, tant pour le conditionnement des boues, que pour la stabilisation ou l'hygiénisation, est une technique bien connue en Europe où elle a été principalement appliquée depuis la dernière décennie.

Aux Etats-Unis, plusieurs municipalités utilisent déjà cette technique depuis quelques années.

L'application ou l'utilisation de la technique est presque nulle au Canada (une seule ville, en Ontario) et inexistante au Québec.

L'utilisation de la chaux, généralement sous la forme éteinte dans le cas du conditionnement, vise souvent à remplacer un procédé de conditionnement tel que le procédé thermique ou même l'utilisation de polymères et de produits chimiques et vise aussi l'ajustement de pH dans certains procédés. Elle peut aussi être utilisée en surplus de ces produits. La chaux aide donc à favoriser la formation de particules, lesquelles seront plus facilement séparés par les équipements de déshydratation.

L'utilisation de la chaux dans la stabilisation des boues offre de très grands avantages tant pour les boues non stabilisées que stabilisées. D'abord, l'utilisation de la chaux (sous la forme vive le plus souvent), augmente le pH du milieu et bloque ainsi l'activité biologique de la boue, ce qui limite grandement les risques de fermentation ultérieure. La quantité de pathogènes et de bactéries diminue ainsi drastiquement. De plus, la chaux semble réduire de façon très significative la quantité d'odeur dégagée.

Les risques de pollution de l'eau et de l'air sont ainsi diminués offrant la possibilité d'un entreposage sur place et un transport sans désagréments.

La littérature nous informe d'un certain nombre d'avantages apportés par cette technique pour les usines qui produisent des boues stabilisées, mais plus particulièrement pour les boues non stabilisées. La présente section porte sur les avantages ayant une implication agricole. Tout d'abord, selon la quantité de chaux ajoutée, le produit final aura une siccité de 23% à 40%, permettant une accumulation en tas, au bord des champs (1). Ces boues étant stabilisées, hygiénisées et ayant une siccité élevée, le lessivage et la contamination de l'environnement sont de beaucoup diminués. Le chaulage permet d'hygiéniser des boues non stabilisées et ainsi les rendre aptes à la valorisation agricole.

Comme effet secondaire, la stabilisation à la chaux diminue le problème d'odeur, favorisant un entreposage à l'usine comme à la ferme.

Selon certaines études, les pathogènes sont moins nombreux que dans une boue digérée anaérobie. L'ordre de grandeur serait de 10 à 1000 fois moins (2).

Mais le plus grand avantage est la valeur des boues comme amendement calcaire. Dans les terres fortement cultivées argileuses et acides, comme c'est le cas dans la plaine du Saint-Laurent, la demande en amendement calcaire sous forme de chaux est continuelle, régulière et s'applique en pratique à chaque agriculteur.

L'expérience européenne fait mention d'une excellente réception de ces boues chaulées par les agriculteurs à cause du contenu en chaux (1). Ces boues trouvent preneurs sans difficulté en milieu agricole, grâce à leur maniabilité, leur facilité de transport, de stockage en tas et une reprise facile avec des chargeurs agricoles.

Avec des boues chaulées, les agriculteurs devraient trouver un intérêt considérable au produit puisqu'ils doivent présentement payer pour ce besoin continu et régulier de chaux, afin d'augmenter le pH du sol. Le chaulage des boues permettrait donc de créer une demande réelle pour le produit non pas seulement basé sur la valeur fertilisante et la matière organique, mais surtout sur le pouvoir d'augmentation du pH du sol. Certains essais européens montrent que les boues chaulées offrent le même potentiel d'augmentation de pH que les amendements calcaires généralement utilisés. D'ailleurs, l'acceptation rapide et la demande grandissante de la part des agriculteurs a été un des éléments incitatifs à l'adoption de cette technique pour de nombreuses usines européennes, d'autant plus que le coût de cette technique est jugé compétitif à d'autres traitements (1).

L'entreposage au champ permettrait à l'usine d'éliminer les boues à mesure qu'elles sont produites.

L'élimination des boues vers les sites d'enfouissement est coûteux. De plus, il ne faut pas négliger l'apport d'éléments fertilisants, de matière organique et d'oligo-éléments que représentent les boues chaulées sur les sols.

## 2.4. Mise en situation

Définition des procédés

Il importe tout d'abord de bien définir certains termes tels qu'ils sont utilisés dans la présente étude, notamment les procédés de conditionnement, de stabilisation, d'hygiénisation et de définir l'implication de la chaux dans chacun d'eux.

Conditionnement: le terme conditionnement représente tous les traitements que subit la boue juste avant la déshydratation. En Europe, un produit chimique tel que le chlorure ferrique est le plus souvent utilisé comme agent conditionnant. Comme ce produit abaisse considérablement le pH, de la chaux doit être ajoutée pour rétablir le pH à des niveaux favorisant la coagulation des particules. Dans le présent rapport, l'ajout de la chaux en conditionnement, signifie toujours que celle-ci a été ajouté aux boues liquides, juste avant la déshydratation.

Stabilisation: le terme stabilisation réfère à l'état de décomposition de la matière organique facilement dégradable.

Une vraie stabilisation signifie que les solides volatils diminuent à un point où les bactéries ne peuvent plus s'accroître et finissent par disparaître. Donc une boue stabilisée ne subira que peu de fermentation ultérieure à cause d'un manque de nourriture bactérienne. Une boue stabilisée contient environ 40% (30 à 60) de solides volatils, comparativement à 65% (60 à 80) initialement. Une boue ayant plus de 20 jours d'âge, (déterminé par le type de procédé d'épuration) est aussi considérée stabilisée. De façon plus globale, le terme stabilisation signifie donc une diminution ou un arrêt de la fermentation et de l'activité bactérienne.

Dans le cadre du présent rapport, comme seules des boues déshydratées sont étudiées, l'ajout de la chaux pour la stabilisation signifiera toujours que la chaux a été ajoutée "après" le procédé de déshydratation; rappelons que la chaux ajoutée en conditionnement mènera aussi à la stabilisation des boues.

Hygiénisation: L'hygiénisation des boues est principalement associée à l'arrêt et même à la destruction de l'activité bactérienne et plus particulièrement des pathogènes et des virus. Cet arrêt est obtenu en créant des conditions défavorables aux pathogènes (chaleur, désinfectants, pH, etc.). L'hygiénisation stabilise l'activité bactérienne mais pas par un manque de nourriture, comme c'est le cas pour une "vraie" stabilisation.

Effets attendus de la chaux: Compte tenu des descriptions précédentes, la littérature nous renseigne sur certains effects attendus de la chaux sur des boues non stabilisées.

La chaux améliore le conditionnement et la déshydratation, mais le but principal recherché par l'utilisation de la chaux, en conditionnement ou après la déshydratation, est une stabilisation et une hygiénisation des boues.

La méthodologie consiste à ajouter suffisamment de chaux pour que le pH des boues soit plus grand ou égale à 12, niveau auxquel l'activité bactérienne est réduite de façon presque complète. Ainsi, la boue se stabilisera par l'arrêt de l'activité bactérienne causé par un pH élevé (hygiénisation), plutôt que par un manque de matière première à digérer (vraie stabilisation).

La littérature indique que l'atteinte d'un pH 12 au moment du mélange ne garantit pas la stabilité à long terme puisqu'il peut redescendre à 10.8-11.0. Ceci aura pour conséquences que l'activité bactérienne reprendra, baissant davantage le pH et accentuant de plus en plus la fermentation. Des expériences montrent que si l'on ajoute

suffisamment de chaux pour que le pH soit à plus de 12, deux heures et préférablement 48 heures après le traitement, il est plus que probable que le pH, et donc la conservation, pourront se maintenir sur une très longue période. Des boues à pH 12 après 2 heures peuvent donc être considérées stabilisées ou hygiénées.

D'autre part, avec la chaux vive, la chaleur dégagée lors de l'hydratation peut parfois augmenter suffisamment pour détruire une quantité supplémentaire de pathogène.

Principes généralement en usage

Afin de pouvoir étudier les qualités agronomiques des boues chaulées telles qu'elles seraient normalement produites en situation normale, des recherches ont été effectuées afin de mettre en évidence les pratiques les plus couramment utilisées à l'étranger.

La présente section vise donc à décrire les principes généralement en usage dans les pays européens. Tel qu'expliqué à la partie "Problématique", le procédé du chaulage a été utilisé tant comme procédé de conditionnement (préparation à la déshydratation) qu'en remplacement des procédés de stabilisation des boues.

L'utilisation de la chaux pour stabiliser des boues "liquides" semble une pratique plus rare et vise principalement la stabilisation des boues sans déshydratation de sorte qu'elles puissent être épandues sur les fermes sous forme liquide. Cette pratique demande une méthodologie plus particulière puisqu'il risque d'y avoir évolution

des paramètres avec le temps. Il est donc généralement de pratique courante de procéder à la déshydratation des boues.

Bien qu'une même usine puisse techniquement ajouter la chaux avant "et" après la déshydratation, il est généralement admis d'ajouter la chaux au stade de conditionnement "ou" après la déshydratation, c'est-à-dire pour finaliser la stabilisation des boues.

La chaux peut être utilisée sous la forme vive (CaO) ou la forme éteinte ($Ca(OH)_2$). De façon générale, les deux formes de chaux peuvent être utilisées aux deux stades précités. De même, la chaux vive peut être éteinte avant son utilisation ou utilisée vive. Aussi, la chaux peut être utilisée en poudre directement dans les baches de mélange ou préalablement dissoute et diluée au besoin. En poudre, la masse volumique de la chaux vive est le double de celle de la chaux éteinte ce qui permet un entreposage moins volumineux pour une même quantité d'éléments réactifs. Enfin, la chaux vive commande un prix moins élevé ou égal à la chaux éteinte.

A cause de ces éléments et à cause d'autres points techniques dus aux conditions finales attendues du procédé, il est généralement pratique courante d'utiliser la chaux éteinte, lorsqu'il s'agit du procédé de conditionnement et d'utiliser la chaux vive lorsqu'il s'agit de stabilisation après déshydratation. A titre d'exemple, dans la région d'Artois-Picardie, en France, à partir de seize usines utilisant la technique du chaulage, neuf usines sur dix utilisent la chaux éteinte en conditionnement et six usines sur six utilisent la chaux vive pour la stabilisation après déshydratation. Une seule usine a utilisé la chaux vive en conditionnement pour éviter la construction d'infrastructures supplémentaires pour le stockage de la chaux.

Les dosages requis sont très variables et tiennent souvent compte de conditions techniques. De façon générale, que ce soit pour le conditionnement ou la stabilisation, le minimum de chaux à ajouter est de l'ordre de 250 kg CaO par tonne de matière sèche à traiter alors que certaines usines utilisent jusqu'à 500 kg CaO par tonne de matière sèche.

Ces données, de pratique courante, ont été utilisées afin d'orienter les détails de la présente étude, dans le but d'obtenir des résultats qui seront plus près de la réalité d'application, le tout en prévision de l'utilisation de cette pratique au Canada.

## 3. OBJECTIFS

Bien que la technique de chaulage des boues soit relativement connue, son application est encore inexistante au Québec. Ainsi, il n'existe aucune donnée pratique sur les caractéristiques agronomiques du produit dans les conditions particulières de notre pays (climat, type de boues, de chaux).

D'une part, tel que discuté dans la problématique, les boues non stabilisées représentent un problème plus grand que les boues stabilisées puisqu'elles ne sont pas jugées aptes à la valorisation agricole.

Compte tenu de cette situation, les objectifs visés par la présente étude sont de:

- Etudier les avantages du chaulage, en utilisant des boues non stabilisées uniquement, de façon à vérifier si elles peuvent être rendues aptes à la valorisation agricole par cette technique.

- Réaliser un banc d'essai à échelle très réduite dans le seul but d'obtenir une petite quantité de boues chaulées.

- Viser l'acquisition de connaissances et de données préliminaires, mais essentielles sur les qualités agronomiques, les caractéristiques, le comportement et l'utilisation du produit (boues chaulées initialement non stabilisées) en vue de sa valorisation agricole,

- Présager des problèmes et solutions touchant la manipulation du produit (transport, entreposage, reprise, épandage) en agriculture.

- Etudier de façon préliminaire les conséquences économiques du chaulage de ces boues, pour l'agriculture.

## 4. CADRE D'APPLICATION

Comme la technique de chaulage des boues à l'usine est bien connue de façon théorique, le présent projet ne vise aucunement à étudier ou à optimiser le procédé de traitement. De plus, cet aspect relève de l'assainissement urbain. Seules les implications agricoles sont visées.

Comme il n'y a aucune boue chaulée de disponible au Québec le projet vise à connaître la nature du produit résultant et sa valeur pour l'agriculture, tel qu'il serait produit en appliquant la méthodologie la plus probable (basée sur les expériences étrangères) dans les procédés de conditionnement et de stabilisation. En conséquence, la quantité de chaux ajoutée et sa forme, ont été déterminées à partir des pratiques généralement en usage dans ce domaine. Le présent projet n'a pas essayé d'établir par des essais, quel est le dosage de chaux idéal pour l'agriculture, mais a étudié plutôt quelle est la valeur agricole du produit compte tenu de dosages préétablis. Le dosage idéal pour l'agriculture sera, par contre, discuté à la lumière des résultats obtenus.

D'autre part, le présent projet, vise à fournir le maximum de connaissances, rapidement, sur le produit, afin d'orienter les futures étapes de développement, avec le minimum de ressources. Ainsi, ce projet a été réalisé sur une échelle très réduite, de type banc d'essais. Des installations peu élaborées ont été construites dans le seul but d'obtenir une certaine quantité de boues chaulées pour fins d'analyse. Il ne s'agissait pas de construire un procédé petite échelle, mais bien de tenter d'obtenir un produit final similaire à ce qu'il serait en situation normale.

Le cadre de travail du présent projet vise essentiellement à répondre aux questions agronomiques et environnementales.

## 5. MATERIEL ET METHODES

Cette section contient une description sommaire du protocole utilisé dans cette étude. Une description détaillée de la méthodologie suivie dans ce projet se trouve en annexe A, y référer pour plus de détails.

### Principe de chaulage

Deux principes de chaulage ont été utilisés pour préparer les boues.

- Conditionnement

  Les boues liquides telles que produites par l'usine sont conditionnées normalement à l'aide du polymère Percol 757. Préalablement, les boues auront été conditionnées ou mélangées à de la chaux sous forme éteinte. Cette chaux a d'abord été mouillée de sorte qu'elle a été ajoutée aux boues sous forme de lait de chaux. Les boues liquides chaulées ont ensuite été déshydratées par un filtre à bande pressante et le produit final a servi aux études.

- Stabilisation

  Les boues liquides telles que produites par l'usine ont d'abord été conditionnées normalement à l'aide du polymère Percol 757 et déshydratées par le filtre à bande pressante utilisé lors des essais. Ces boues déshydratées ont ensuite été mélangées avec de la chaux vive, ajoutée en poudre et le produit final a servi aux études.

Pour chacun des principes de chaulage, deux dosages ont été appliqués:

- 300 kg (CaO équivalent)/t.m.s. à traiter;

- 500 kg (CaO équivalent)/t.m.s. à traiter.

Le dosage a été basé sur l'équivalent CaO afin de fournir la même quantité de matière active pour la chaux vive et la chaux éteinte.

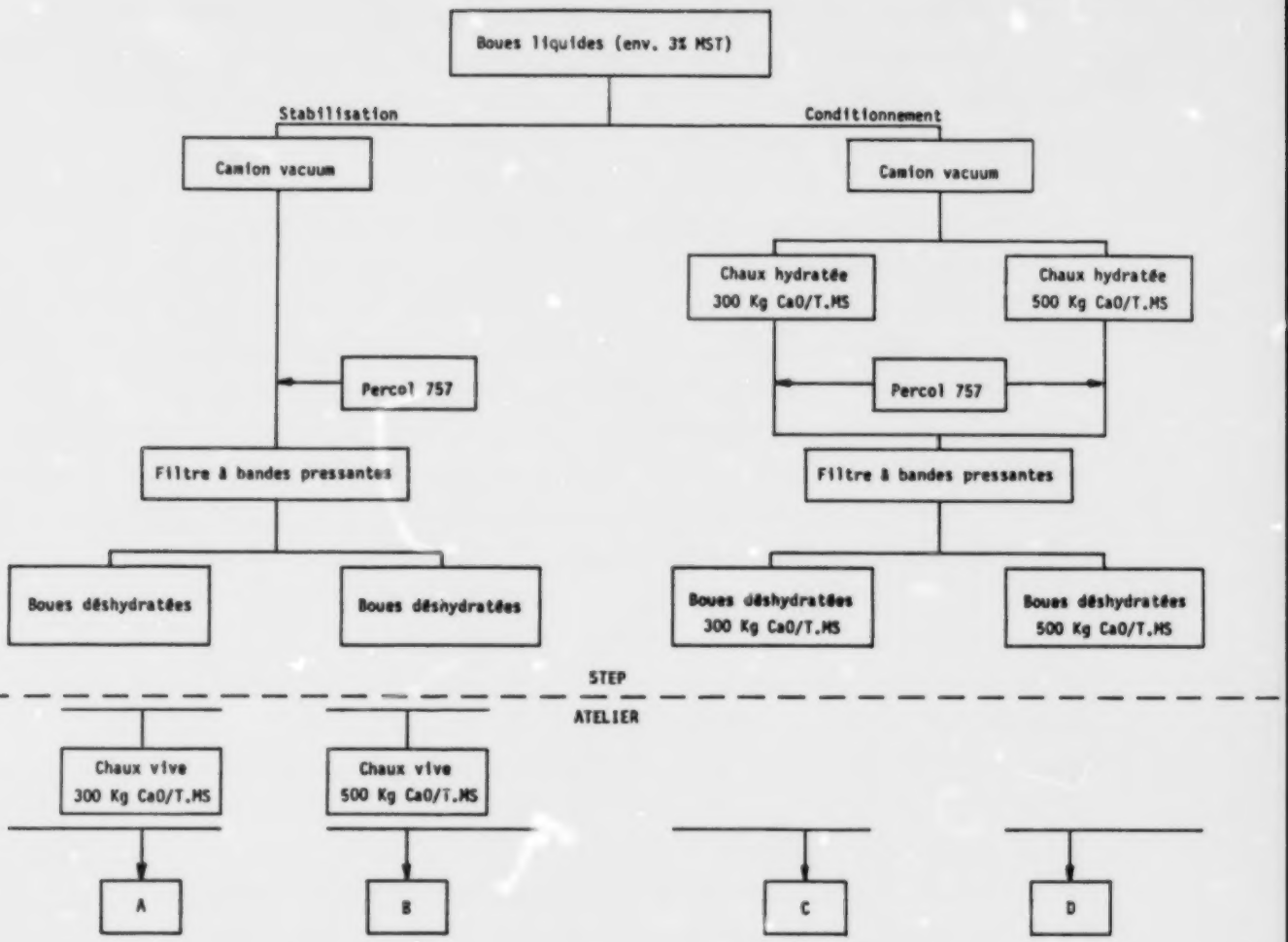
La méthodologie utilisée à l'usine est la suivante: un camion vacuum a été rempli de boues liquides et la chaux hydratée a été ajoutée sous forme de lait de chaux. Les quantités nécessaires ont été mesurées pour chacune des doses en prenant en compte le taux de matière sèche des boues. Le mélange a été bien homogénéisé pendant quelques minutes pour être ensuite aspiré vers un filtre à bande pressante installé sur une unité mobile de déshydratation. A l'entrée du filtre, les boues chaulées ont été conditionnées avec un polymère selon la procédure normalement utilisée.

Préalablement à la déshydratation des boues chaulées, les quantités nécessaires de boues non chaulées avaient été déshydratées de la même façon sur le filtre à bande pour être amenées à l'atelier du consultant.

A cet endroit, la chaux vive a été ajoutée aux boues déshydratées non chaulées. Les doses ont été établies d'après le taux de m.s.t. de la boue déshydratée non chaulée. La chaux vive a été mélangée sous forme solide à l'aide d'un mélangeur à béton.

Une présentation schématique des traitements effectués se trouve à la figure 5.1.

Figure 5.1: Traitements effectués




A : Boues déshydratées auxquelles on a mélangé de la chaux vive; dosage = 300 Kg CaO/T.MS .

B : Boues déshydratées auxquelles on a mélangé de la chaux vive; dosage = 500 Kg CaO/T.MS .

C : Boues déshydratées: la chaux hydratée a été ajoutée aux boues liquides avant la déshydratation; dosage = 300 Kg CaO/T.MS .

D : Boues déshydratées: la chaux hydratée a été ajoutée aux boues liquides avant la déshydratation; dosage = 500 Kg CaO/T.MS .

Avant l'ajout de polymères et/ou de la chaux pour chaque scénario, trois échantillons ont été analysés pour le contenu en solides totaux (m.s.t.) volatils (m.v.t.) et pH. Ces échantillons ont été analysés sur place.

Les méthodes d'analyse utilisées dans cette étude sont décrites à l'annexe B.

Pour l'ensemble des scénarios, trois autres échantillons de boues liquides ont été analysés en laboratoire pour leur contenu en solides totaux (m.s.t.), volatils (m.v.t.), pH et valeur en amendement calcaire (CaO). Un de ces échantillons a été analysé de façon complète soit en y ajoutant NTK, $NH_4$, $NO_2$, $NO_3$, P tot, $O\text{-}PO_4$, K, Ca, Mg, redox, COT et les métaux lourds.

Après la déshydratation, un échantillon de chacun des trois scénarios a été puisé en mélangeant quatre prises ensemble. Ces échantillons ont été analysés pour les m.s.t., m.v.t., pH, NTK, $NH_4$, $NO_2$, $NO_3$, P tot, $O\text{-}PO_4$, K, Ca, Mg, valeur en amendement calcaire (CaO) et le redox.

Le filtrat s'écoulant du filtre pendant chaque session, a été analysé sur place pour le contenu en m.s.t. et le pH. Un autre échantillon a été envoyé au laboratoire pour vérifier les mêmes données.

Après une période d'une semaine, un échantillon pour chacun des quatre types de produit a été analysé. Chaque échantillon était le mélange de quatre prises. Ils ont été analysés pour les paramètres suivants:

> m.s.t., m.v.t., pH, valeur amendement calcaire (CaO), NTK, $NH_3$, $NO_2$, $NO_3$, P tot, $O\text{-}PO_4$, K, COT, Ca, Mg, redox, capacité d'échange cationique, les métaux lourds sous la forme totale soit: As, Al, B, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Zn, Fe.

Toutes ces analyses visaient l'évaluation de la valeur fertilisante ou agronomique des boues chaulées.

Enfin, des échantillons de la chaux utilisée ont aussi été analysés pour le contenu en CaO et en métaux lourds.

Les autres activités visent à connaître les caractéristiques plus physiques et le comportement du produit en diverses situations. Ces activités spécifiques sont décrites brièvement ci-après:

- Entreposage à froid: Les quatre échantillons ont été placés à l'intérieur d'un congélateur à -18°C pendant 7 jours. A la fin de cette période, ils ont été ramenés à la température ambiante pour être étudiés manuellement et visuellement. Lors du dégel, le liquide a été récolté puis mesuré.

- Entreposage en tas: Trente litres de chaque produit ont été déposés en tas à l'extérieur afin de voir et d'étudier le comportement lorsqu'entreposé à l'extérieur.

- Quantité de lixiviat: Ce test vise à étudier le drainage des boues chaulées lorsque déposées en tas afin d'obtenir des informations sur la quantité de liquide pouvant contaminer les alentours d'un entreposage.

  A la fin de cet essai, un échantillon du lixiviat, de chacun des types de boues, a été analysé pour la quantité de matière sèche, volatile, le pH et la quantité de CaO et la conductivité. De plus, un échantillon soit celui du COND 300 a été analysé de façon complète incluant tous les éléments fertilisants de même que les métaux lourds et la conductivité.

- Hydratation et lessivage: Ce test visait à connaître les réactions d'une hydratation et les volumes de lessivage qui en résultent afin de simuler un entreposage en tas à l'extérieur et donc l'absorption et la perméabilité à la pluie.

Pour chacune des boues, un échantillon du lixiviat a été analysé pour les solides totaux, volatils, le pH, la quantité de CaO et la conductivité. De plus, les échantillons de chaque type de boue ont été analysés pour la quantité de matière sèche. Ainsi, un échantillon des boues a été pris le lendemain du dernier arrosage et un autre échantillon a été analysé une semaine après la fin du dernier arrosage.

- Tests de densité: La densité de chaque type de boue a été mesurée en pesant un volume connu de boue.

- Autres observations: Pendant tous les essais, diverses observations ont été notées sur le degré apparent d'odeurs relatives, l'apparence générale du produit en terme d'acceptabilité, le développement d'insectes, de même que sur la maniabilité apparente ou si on veut l'aspect physique des boues pour chaque type afin de noter les différences entre chacune.

# 6. RESULTATS ET ANALYSES

Au début de cette section, il est important de faire remarquer que ces résultats ont été obtenus à partir d'un projet au cadre très restreint, un nombre limité d'échantillons a été récolté et analysé et aucune répétition n'a été effectuée. Les conditions mêmes du projet ne permettaient pas une rigueur scientifique très élevée.

Afin d'orienter le projet, des essais préliminaires ont été réalisés au laboratoire de la station d'épuration, ainsi que des essais de réduction de polymère sur le filtre à bande. Les résultats concernant ces essais se retrouvent en annexe C.

## 6.1. Analyse de la chaux

Des échantillons de chaux vive et de chaux hydratée ont été analysés de façon à déterminer leur teneur en équivalent CaO. De plus, une analyse complète de la chaux a été effectuée, pour connaître son contenu en divers éléments dont certains métaux lourds.

Les résultats de ces analyses sont présentés aux tableaux 6.2 et 6.3.

## 6.2. Observations générales lors de la déshydration

Certains essais et réglages avec la boue non chaulée ont été effectués de façon à obtenir une efficacité maximale du filtre.

Le test de succion capillaire Komline-Sanderson a été utilisé pour déterminer le dosage optimum en polymère. La so-

lution mère de Percol 757 est à 2.5 g/l. et le dosage du polymère a été de 10.48 kg/t.m.s. tout au long des essais.

La vitesse de la pompe à boues a été maintenue à 3 $m^3/h$ pour tous les types de boues.

Le tableau 6.1 présente les résultats des analyses effectuées au laboratoire de l'unité mobile lors de la déshydratation des boues.

TABLEAU 6.1: ANALYSE DES BOUES ET DU FILTRAT LORS DE LA DESHYDRATATION

| ECHANTILLON | M.S.T. (%) | M.V.T. (%) | pH | T °C |
|---|---|---|---|---|
| Boues liquides NC | 3.40 | 76.26 | 6.50 | 15.13 |
| Boues liquides Cond 300: | 4.75 | 52.25 | 12.78 | 8.4 |
| Boues liquides Cond 500: | 5.5 | 41.03 | 12.48 | 18.3 |
| Boues déshydratées NC | 14.53 | 74.27 | 6.76 | 14.5 |
| Boues déshydratées Cond 300: | 17.55 | 53.32 | 12.71 | 6.9 |
| Boues déshydratées Cond 500: | 19.65 | 40.74 | 12.42 | 15.0 |
| Filtrat à la sortie du filtre à bande - Boues NC | 0.184 | - | 6.5 | - |
| Filtrat Cond 300: | 0.306 | - | 12.0 | 6.9 |
| Filtrat Cond 500: | 0.294 | - | 12.0 | 11.1 |

NC = Non chaulé(es)

6.2.1. Déshydratation des boues non chaulées

Le technicien opérant le filtre a fait les observations suivantes:

- Formation d'un floc lâche

- Le surnageant au-dessus du floculateur est très trouble.

- Il y a une mauvaise séparation de la boue au milieu de la bande.

D'après son expérience, cette boue est difficile à déshydrater et de plus la quantité de polymères nécessaire est très élevée; il faut cependant noter que celle-ci correspond aux dosages utilisés pour la déshydratation à l'usine même.

Quatre barils de 220 litres ont été emplis de boue déshydratée non chaulée. Cette boue dégageait une forte odeur, elle était collante et adhérait fortement à la toile du filtre.

### 6.2.2. Déshydratation de la boue chaulée Cond 300

Le tableau 6.1 présente les résultats d'analyse concernant les boues liquides Cond 300. La dose réelle de CaO ajoutée sous forme de chaux hydratée est de 283 kg CaO/t.m.s. Cette différence est due à l'écart entre la m.s.t. estimée et la m.s.t. réelle de la boue utilisée.

Voici les observations notées par le technicien:

- L'odeur désagréable des boues est presque complètement éliminée.

- Le floc est formé de particules denses de petit diamètre.

- La boue se répartit également sur la largeur et l'égouttement gravitaire sur la première partie du filtre à bande se fait bien.

- Les boues déshydratées à la sortie du filtre sont très fermes et plus sèches, ce qui fait que celles-ci se séparent facilement de la toile du filtre.

Dans ce cas, on voit bien que l'ajout de chaux aux boues liquides facilite la déshydratation en amenant une nette réduction d'odeurs. Le taux de matière sèche du filtrat est plus élevé et on peut estimer que cela est dû à la chaux présente dans ce filtrat. Il ne faut cependant pas perdre de vue le fait que l'ajout de chaux augmente nettement le taux de matière sèche des boues liquides.

6.2.3. Déshydratation de la boue chaulée Cond 500.

Le tableau 6.1 présente les résultats pour le Cond 500. La dose réelle sous forme de CaO est de 424 kg/t.m.s.

Le technicien a fait les observations suivantes:

- Les flocs ont la forme de "flocons de neige", ils semblent fibreux tout en étant assez denses.

- La boue est plus pâle et développe une légère odeur de chaux.

- La boue à la sortie du floculateur contient des particules blanches qui ressemblent à des amas de chaux.

- Les boues déshydratées ont l'apparence de la terre humide et sablonneuse.

- On obtient une boue déshydratée qui se sépare très bien de la toile du filtre.

Selon le technicien opérant le filtre à bande, la dose optimale de chaux pour améliorer le fonctionnement du filtre se situe entre 300 et 400 kg CaO/t.m.s. L'utilisation de la chaux hydratée en conditionnement permet d'améliorer la performance du filtre à bande. De plus, les tests réalisés sur une boue liquide chaulée à 500 kg CaO/t.m.s. démontrent que ce procédé peut permettre une économie appréciable de polymères (voir annexe D).

## 6.3. Analyses chimiques des boues: Présentation des résultats

Le tableau 6.2 présente les résultats d'analyse des constituants des boues. Ces résultats seront analysés individuellement dans les sections suivantes.

A partir de ces analyses, il sera possible d'évaluer les caractéristiques chimiques des différentes boues étudiées.

La teneur des boues en métaux lourds est présentée au tableau 6.3, cet aspect sera aussi analysé plus loin, ainsi que les résultats concernant l'analyse des liquides de drainage provenant des boues.

TABLEAU 6.2: RESULTATS GLOBAUX D'ANALYSE DE CHAUX, DE BOUES ET DE FILTRAT; ECHANTILLONNAGE DE LA BOUE EFFECTUE 24 HEURES ET UNE SEMAINE APRES AJOUT DE LA CHAUX.

| Types de matériel | pH | MST | MVT | NTK | NH4 | NO2-NO3 | P tot | O-PO4 | K | VAC** | COT | CaO*** | MgO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (%) | (%) | *(ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ecc) | (%) | (%) | (%) |
| Chaux vive | - | --- | --- | --- | --- | -- | 1192.0 | --- | 471.3 | --- | --- | 90.53 | 2.67 |
| Chaux hydratée | - | --- | --- | --- | --- | -- | 621.0 | --- | 184.8 | --- | --- | 73.07 | 1.27 |
| Boues liquides non chaulées | 5.8 | 3.27 | 75.54 | 50100 | 11300 | 18.0 | 629.0 | 100.0 | 4891.0 | 18.90 | 23.75 | --- | -- |
| Boues déshydratées non chaulées | 6.0 | 14.70 | 74.15 | 53620 | 7220 | 49.0 | 730.0 | 564.0 | 5213.0 | 36.33 | 23.93 | --- | -- |
| COND 300 + 24 hrs | 12.4 | 16.90 | 53.25 | 38040 | 2280 | 22.0 | 111.0 | 24.0 | 2960.0 | 33.07 | 17.75 | --- | -- |
| COND 500 + 24 hrs | 12.4 | 20.20 | 42.57 | 28700 | 2490 | 19.0 | 15.0 | 15.0 | 2197.0 | 43.93 | 12.76 | --- | -- |
| STAB 300 + 24 hrs | 12.5 | 21.00 | 41.90 | 30335 | 2200 | 21.0 | 350.0 | 27.0 | 4429.0 | 41.66 | 10.80 | --- | -- |
| STAB 500 + 24 hrs | 12.5 | 24.70 | 33.20 | 24520 | 1740 | 6.0 | 129.0 | 23.0 | 2894.0 | 64.17 | 9.70 | --- | -- |
| COND 300 + 1 sem. | 12.6 | 16.90 | 57.65 | 35890 | 1000 | 6.7 | 372.0 | 46.0 | 4966.0 | 83.78 | 11.40 | --- | -- |
| COND 500 + 1 sem. | 12.5 | 20.90 | 42.10 | 30745 | 1350 | 2.0 | 320.0 | 27.2 | 1979.0 | 41.63 | 8.24 | --- | -- |
| STAB 300 + 1 sem. | 12.6 | 19.20 | 46.35 | 35930 | 1650 | 8.0 | 270.0 | 22.7 | 3710.0 | 39.71 | 13.20 | --- | -- |
| STAB 500 + 1 sem. | 12.6 | 24.60 | 31.71 | 31390 | 780 | 5.6 | 611.0 | 27.3 | 3312.0 | 82.42 | 10.86 | --- | -- |
| COND 300 DRAINAGE | 13.1 | 3.35 | 79.40 | 95522 | 1 | 0 | 113848.0 | 0 | 8149.0 | ----- | 39.10 | --- | -- |

* ppm : Ces résultats sont exprimés en mg/kg de matière sèche.

** Valeur obtenue par analyse

*** Equivalents CaO en %

TABLEAU 6.3: COMPOSITION DE LA CHAUX, DES BOUES ET DU FILTRAT EN METAUX LOURDS ET AUTRES ELEMENTS MINEURS, ECHANTILLONNAGE DE LA BOUE EFFECTUE UNE SEMAINE APRES L'AJOUT DE LA CHAUX (mg/kg de matière sèche).

| Types de matériel | Al | As | B | Cd | Ca | Cr | Co | Cu | Fe | Mg | Mn | Hg | Mo | Ni | Pb | Se | Na | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Chaux vive | 2853.0 | 1.3 | 8.7 | <1.0 | --- | 8.08 | <1.0 | <2 | 2155 | ---- | 281 | <0.1 | 4 | 4.0 | <10 | 0.9 | ---- | 6.1 |
| Chaux hydratée | 1248.0 | 0.7 | 5.8 | <1.0 | --- | 6.86 | <1.0 | <2 | 1152 | ---- | 207 | <0.1 | 4 | 4.0 | <10 | 0.6 | ---- | 4.4 |
| Boues liquides non chaulées | 50.1 | <10.0 | 25.0 | <0.5 | 17494 | 6.30 | 30.7 | 228 | 6515 | 4010 | 231 | <10.0 | <2 | 46.0 | <10 | <10.0 | 2912 | 226.0 |
| COND 300 + 1 sem. | 59.3 | <10.0 | 10.6 | <0.5 | 327490 | 10.00 | 21.8 | 197 | 7219 | 5531 | 266 | <10.0 | <2 | 40.2 | <10 | <10.0 | 1512 | 224.0 |
| COND 500 + 1 sem. | 49.5 | <10.0 | 17.0 | <0.5 | 219678 | 17.50 | 72.5 | 593 | 5406 | 4789 | 250 | <10.0 | <2 | 28.5 | <10 | <10.0 | 458 | 416.0 |
| STAB 300 + 1 sem. | 46.0 | <10.0 | 2.7 | <0.5 | 193190 | 16.80 | 18.9 | 161 | 5682 | 4211 | 220 | <10.0 | <2 | 30.3 | <10 | <10.0 | 843 | 204.0 |
| STAB 500 + 1 sem. | 44.1 | <10.0 | 5.5 | <0.5 | 285570 | 8.90 | 12.3 | 151 | 5114 | 3994 | 206 | <10.0 | <2 | 25.4 | <10 | <10.0 | 567 | 17.4 |
| COND 300 DRAINAGE | <3.0 | <6.0 | <3.0 | <0.5 | 2668 | <0.2 | 4.5 | 66 | 37 | 58 | 1 | < 6.0 | <1 | 107.5 | <1 | 8.9 | 0 | 19.4 |

6.3.1. Evolution du pH

- Boues non chaulées

Les pH mesurés dans les boues non chaulées sont présentés au tableau 6.4.

Plusieurs analyses du pH des boues de St-Hyacinthe ont démontré une valeur se situant autour de 5.7 à 6.0, ce qui est en accord avec les pH moyens mesurés régulièrement par les exploitants de la station d'épuration.

On observe une hausse subite du pH des boues et du filtrat après que les boues aient été arrosées pendant 5 jours à raison de 12 mm/jour. L'eau utilisée pour l'arrosage avait un pH de 7.2, ce qui ne peut expliquer l'augmentation de pH.

On pourrait émettre l'hypothèse que l'eau d'arrosage a créé dans la boue des conditions anaérobies qui d'une façon ou d'une autre ont amené une hausse de pH; peut-être la très forte activité biologique constatée dans les boues en est-elle responsable. Alors, pourquoi ne remarque-t-on pas aussi une hausse du pH dans le filtrat des boues?

Les informations dont nous disposons ne nous permettent pas d'expliquer de façon satisfaisante cette brusque augmentation de pH.

- Boues chaulées

Le tableau 6.4 présente les résultats concernant les boues chaulées en conditionnement et en stabilisation.

Comme les essais préliminaires l'avaient démontré, une dose de CaO à 300 kg/t.m.s. amène une même augmentation de pH qu'une addition de 500 kg de CaO/t.m.s. Dans le cas du conditionnement, le pH augmente jusqu'à 12.4 après 24 heures tandis que l'ajout de chaux en stabilisation amène un pH très légèrement supérieur (12.5).

Après une semaine le pH a légèrement augmenté dans les barils.

Les liquides s'étant écoulés lors du drainage des boues ont un pH encore plus élevé, de même pour les liquides récoltés après arrosage des boues.

Cela peut s'expliquer par un effet de lessivage des boues, le liquide écoulé entraîne des particules de chaux et se trouve ainsi avec un pH très élevé; jusqu'à 14 dans certains cas !

Une autre mesure du pH des boues entreposées dans les barils, après 16 semaines montre que le pH a diminué dans tous les cas. Cependant, la diminution est plus importante dans le cas des boues chaulées en conditionnement que dans celui des stab 300 et stab 500.

Cette tendance se retrouve aussi à l'examen des boues Cond 300 et Stab 300 entreposées à l'extérieur pendant 13 semaines; la différence est importante à ce niveau puisque les boues Cond 300 ont maintenant un pH légèrement inférieur à 12.0. Il ne faut pas oublier que ces derniers résultats ne concernent qu'un seul échantillon.

Dans le cas des boues drainées pendant 13 semaines, la diminution du pH est plus ou moins équivalente pour tous les types de boues, celui-ci se situe légèrement au-dessus de 12.0 après cette période.

On peut considérer que le chaulage des boues permet ainsi une hygiénisation efficace des boues en maintenant un pH supérieur à 12 pendant plusieurs semaines. On constate très peu de différence à ce niveau entre les deux procédés de chaulage, de même qu'entre les deux doses utilisées.

TABLEAU 6.4: VALEURS DE pH MESUREES DANS LES BOUES ET LES FILTRATS

| TYPE DE BOUES | BNC | COND 300 | COND 500 | STAB 300 | STAB 500 |
|---|---|---|---|---|---|
| Boues liquides | 5.8 | --- | --- | ---- | ---- |
| Filtrat à la sortie du filtre à bande | 6.5 | 12.0 | 12.0 | ---- | ---- |
| Boues déshydratées, 24 hrs après ajout de la chaux | 6.0 | 12.4 | 12.4 | 12.5 | 12.5 |
| Boues déshydratées, 1 sem. après ajout de la chaux | --- | 12.6 | 12.5 | 12.6 | 12.6 |
| Filtrat lors du drainage des boues | 6.2 | 13.1 | 12.9 | 12.9 | 13.5 |
| Filtrat après arrosage des boues | 8.5 | 14.0 | 13.1 | 13.0 | 13.9 |
| Boues déshydratées, 16 sem. après ajout de la chaux | --- | 12.1 | 12.1 | 12.3 | 12.3 |
| Boues drainées, 13 sem. après dépôt dans le drain | --- | 12.1 | 12.2 | 12.1 | 12.2 |
| Boues entreposées à l'extérieur pendant 13 sem. | --- | --- | 11.9 | ---- | 12.5 |
| BDNC, 24 hres après la fin de l'arrosage | 7.9 | --- | --- | ---- | ---- |
| BDNC, 12 sem. après la fin de l'arrosage | 8.6 | --- | --- | ---- | ---- |

### 6.3.2. Evolution du taux de matière sèche

Le tableau 6.5 présente les taux de matière sèche totale mesurés dans les boues liquides et déshydratées.

Conditionnement

Il est évident ici que l'ajout de chaux hydratée aux boues liquides permet d'obtenir une meilleure déshydratation sur le filtre; les boues non chaulées ont un taux de matière sèche de 14.7% alors que les boues chaulées avant déshydratation atteignent 16.9 et 20.2% de m.s. Bien entendu, le taux de m.s.t. des boues liquides est augmenté par l'ajout de la chaux; un calcul théorique indique que le taux de m.s.t. des boues liquides chaulées devrait se situer à 4.41% pour le Cond 300 et à 5.5% pour le Cond 500. La différence observée pour le Cond 300 est sûrement attribuable aux variations lors de l'échantillonnage et de l'analyse. En effectuant des essais pour trouver le dosage optimum en polymères on peut espérer augmenter le taux de matière sèche des boues chaulées à la sortie du filtre.

TABLEAU 6.5: TAUX DE MATIERE SECHE DES BOUES LIQUIDES ET DESHYDRATEES ( % de matière sèche total)

| | COND 300 | COND 500 | STAB 300 | STAB 50 |
|---|---|---|---|---|
| Boues liquides non chaulées | 3.13 | 3.48 | 2.93 | 2.93 |
| Boues liquides chaulées | 4.75 | 5.50 | ---- | ---- |
| Boues déshydratées non chaulées | ---- | ---- | 14.70 | 14.70 |
| Boues déshydratées chaulées + 24 hrs | 16.90 | 20.20 | 21.00 | 24.70 |
| Boues déshydratées chaulées + 1 sem. | 16.90 | 20.90 | 19.20 | 24.60 |

Stabilisation

Un calcul théorique effectué à partir de la quantité réelle de chaux vive ajoutée aux boues déshydratées montre que le taux de matière sèche des boues chaulées devrait se situer à 20% pour le Stab 300 et à 23.2% pour le Stab 500.

Ce calcul prend en compte la quantité de chaux vive effectivement ajoutée à une boue à 14.7% de m.s.t. ainsi que le poids de matière sèche ajouté par l'hydratation de la chaux vive; soit la transformation de CaO en $Ca(OH)_2$. Les valeurs mesurées se trouvent assez près de ces évaluations.

6.3.3. Matière organique

Le tableau 6.6 présente différents paramètres reliés à la matière organique des boues.

Le taux de matières volatiles totales des boues non chaulées correspond aux résultats déjà obtenus à la station. La diminution observée chez les boues chaulées est attribuable à la "dilution" de la matière organique des boues par l'ajout de chaux, matière essentiellement minérale. Il est étonnant de constater une teneur en MVT plus élevée dans les boues chaulées en conditionnement par rapport aux boues chaulées en stabilisation. La quantité de matière minérale ajoutée aux boues est plus importante dans le cas du Conditionnement puisqu'on a utilisé de la chaux hydratée moins riche en équivalent CaO.

Il n'y a aucune raison évidente de voir un changement des valeurs de MVT après une semaine d'entreposage et les légères différences observées proviennent de variations lors de l'échantillonnage et de l'analyse.

Le carbone organique total représente environ 24% de la masse de boues non chaulées, il n'y a aucune diminution lors de la déshydratation. Par contre, on observe le même effet de "dilution" dû à l'ajout de chaux. Les différences obsrvées entre la mesure du COT 24 heures et une semaine après le chaulage sont probablement attribuables à l'échantillonnage.

Le rapport C/N est présenté à titre d'indications de la "bio-dégradabilité" des boues. Un rapport C/N peu élevé, comme c'est le cas ici, signifie que les boues sont facilement dégradables dans le sol.

Ici encore, les valeurs mesurées 24 heures après chaulage sont en contradiction avec celles obtenues après une semaine.

Les boues chaulées possèdent un taux de matières volatiles élevé; cette caractéristique est liée à l'utilisation de boues non stabilisées. De même les boues chaulées présentent un rapport C/N relativement bas. Ces deux caractéristiques font des boues chaulées un amendement organique intéressant pour maintenir ou améliorer le bilan humique des sols agricoles.

TABLEAU 6.6: MATIERES SOLIDES ET VOLATILES TOTALES, CARBONE ORGANIQUE TOTAL ET RAPPORT C/N DES BOUES

| Types de boues | MST (%) | MVT (%) | COT (%) | C/N * |
|---|---|---|---|---|
| Boues liquides non chaulées | 3.27 | 75.54 | 23.75 | 4.74 |
| Boues déshydratées non chaulées | 14.70 | 74.15 | 23.93 | 4.46 |
| COND 300 + 24 hrs | 16.90 | 53.25 | 17.75 | 4.67 |
| COND 500 + 24 hrs | 20.20 | 42.57 | 12.76 | 4.45 |
| STAB 300 + 24 hrs | 21.00 | 41.90 | 10.80 | 3.56 |
| STAB 500 + 24 hrs | 24.70 | 33.20 | 9.70 | 3.96 |
| COND 300 + 1 sem. | 16.90 | 57.65 | 11.40 | 3.18 |
| COND 500 + 1 sem. | 20.90 | 42.10 | 8.24 | 2.68 |
| STAB 300 + 1 sem. | 19.20 | 46.35 | 13.20 | 3.67 |
| STAB 500 + 1 sem. | 24.60 | 31.71 | 10.86 | 3.46 |

*: Valeur calculée: COT/NTK.

### 6.3.4. Azote

Le tableau 6.7 présente les résultats d'analyses concernant l'azote.

L'azote disponible dans les boues a été évaluée à partir de la formule suivante:

N disponible = N inorganique + 0.30(N organique)

$$N \text{ disponible} = (NH_4 + NO_2 + NO_3) + 0.30(NTK - NH_4)$$

L'azote total Kjeldahl (NTK) se situe à un niveau normal dans les boues liquides et déshydratées. On voit ensuite une diminution de l'azote total dans les boues déshydratées chaulées. Cette diminution est attribuable à l'effet de dilution lors de l'ajout de la chaux, ainsi qu'à la volatilisation de l'ammoniaque ($NH_3$).

L'azote ammoniacal est très élevé dans les boues de Saint-Hyacinthe. Une partie de cet azote minéral est perdue lors de la déshydratation; d'après les résultats obtenus près de 35% du $NH_4$ est évacué avec le filtrat. L'ajout de chaux aux boues, en élevant le pH amène une volatilisation importante de l'ammoniaque présente dans les boues; on observe une diminution importante de l'azote ammoniacal 24 heures après l'ajout de la chaux. Une semaine plus tard l'azote ammoniacal dans les boues a encore diminué de moitié. Cet azote est volatilisé sous forme gazeuse et on peut considérer qu'après plusieurs semaines d'entreposage les boues ne contiennent pratiquement plus de $NH_4$. Ces émanations gazeuses peuvent provoquer des nuisances d'odeurs gênantes autour des installations de chaulage.

Les nitrites et nitrates sont en très faibles quantités dans les boues liquides et déshydratées de même que dans les boues chaulées. Nous devons considérer que les boues d'épuration ne contiennent pratiquement aucun nitrite et nitrate. Compte tenu de la teneur élevée des boues en azote total organique, nous obtenons une valeur d'azote disponible relativement élevée malgré les pertes en azote ammoniacal. L'azote disponible dans les boues est réduit à cause de la volatilisation du NH3 et de l'effet de dilution amené par l'ajout de chaux contenant très peu d'azote. Cependant, le taux d'azote reste suffisamment élevé pour que l'on puisse envisager un épandage basé sur l'azote disponible

TABLEAU 6.7 AZOTE PRESENT DANS LES BOUES

| Types de boues | MST | NTK | $NH_4$ | $NO_2$-$NO_3$ | N DISP* |
|---|---|---|---|---|---|
| | (%) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (kg/tms) |
| Boues liquides non chaulées | 3.27 | 50100 | 11300 | 18.0 | 22.96 |
| Boues déshydratées non chaulées | 14.70 | 53620 | 7220 | 49.0 | 21.19 |
| COND 300 + 24 hrs | 16.90 | 38040 | 2280 | 22.0 | 13.03 |
| COND 500 + 24 hrs | 20.20 | 28700 | 2490 | 19.0 | 10.37 |
| STAB 300 + 24 hrs | 21.00 | 30335 | 2200 | 21.0 | 10.66 |
| STAB 500 + 24 hrs | 24.70 | 24520 | 1740 | 6.0 | 8.58 |
| COND 300 + 1 sem. | 16.90 | 35890 | 1000 | 6.7 | 11.47 |
| COND 500 + 1 sem. | 20.90 | 30745 | 1350 | 2.0 | 10.17 |
| STAB 300 + 1 sem. | 19.20 | 35930 | 1650 | 8.0 | 11.94 |
| STAB 500 + 1 sem. | 24.60 | 31390 | 780 | 5.6 | 9.97 |

*: Valeur calculée: $(NH_4 + NO_2 + NO_3) + 0.3\ (NTK - NH_4)$

6.3.5. Phosphore, Potassium, Calcium et Magnésium présents dans les boues

- Phosphore

Les teneurs en phosphore total présentées au tableau 6.8 sont très faibles. Une boue liquide non chaulée contient généralement entre 15,000 et 30,000 miligrammes/kilogramme de matière sèche. Ici, nous observons des valeurs de 629 et 730 mg/kg de matière sèche. L'analyse des orthophosphates ($O\text{-}PO_4$), qui correspondent au phosphore soluble dans l'eau est à peine plus basse que le phosphore total. La mesure du phosphore disponible, qui correspond à 70% du phosphore total mesuré, est indiquée au tableau 6.8, nous obtenons des valeurs très basses en kg de $P_2O_5$ par t.m.s.

Les boues contiennent normalement plus de phosphore que de potassium. Ici, à l'inverse, nous obtenons des teneurs en potassium nettement plus élevées que pour le phosphore.

Les teneurs moyennes généralement obtenues au Québec correspondent à environ 32 kg de $P_2O_5$ disponible/t.m.s. alors que les boues de St-Hyacinthe ne contiennent que 1 kg/t.m.s. Un échantillon de boues prélevé par le Ministère de l'Environnement du Québec en février dernier à la station présentait une teneur en phosphore nettement sous la normale.

Des vérifications ont été effectuées au laboratoire et il semble que la procédure utilisée ne pose généralement aucun problème. Les teneurs en P total des boues chaulées diminuent grandement par rapport aux boues non chaulées et démontrent des variations incompréhensibles; pour cette raison, quelques tests supplémentaires ont été effectués sur les boues pour tenter de trouver une explication. La description de ces essais se trouve à l'annexe E.

Il y a tout lieu de croire que l'ajout de chaux aux boues d'épuration permet la formation de phosphates calciques relativement insolubles. La présence de tels composés dans les boues épandues sur les sols amène la question de la bio-disponibilité du phosphore dans les sols et en nutrition végétale.

Les faibles teneurs en phosphore mesurées dans les boues affectent plusieurs aspects traités dans ce rapport; telles les valeurs fertilisante et monétaire des boues et les limites de dose d'épandage.

- Potassium

Les boues de St-Hyacinthe peuvent être considérées très riches en potassium. La teneur moyenne rencontrée au Québec se situe à 2000 mg/kg de m.s. alors que les résultats présentés au tableau 6.8 font état de boues non chaulées contenant environ 5000 mg/kg de m.s. Le potassium disponible des boues correspond à 100% du K total mesuré. Une fois ces résultats transformés en kg de $K_2O$/t.m.s., on s'aperçoit que les boues contiennent des quantités de potassium non négligeable en nutrition végétale. La teneur diminue dans les boues chaulées à cause de l'effet de dilution de la chaux. Même si les résultats sont assez variables, il n'y a aucune raison de croire à des pertes en potassium lors du chaulage.

- Calcium

Les boues liquides contiennent naturellement une quantité appréciable de calcium (1.75% de Ca, tableau 6.8). Bien entendu, l'ajout de chaux amène un enrichissement très important des boues en calcium.

- Magnésium

Les boues liquides contiennent 0.4% de Mg, ce qui en fait déjà un fertilisant magnésien intéressant. Cependant, l'ajout de la chaux permet à tout le moins de maintenir une telle proportion, puisque la chaux vive et la chaux hydratée amènent du Mg sous forme de MgO ou $Mg(OH)_2$.

Ainsi, les boues déshydratées chaulées contiennent entre 0.4 et 0.5% de Mg total.

TABLEAU 6.8: PHOSPHORE, POTASSIUM, CALCIUM ET MAGNESIUM PRESENTS DANS LES BOUES.

| Types de boues | MST | MVT | O-$PO_4$ | P tot | P disp[1] | $P_2O_5$[2] | K | $K_2O$[3] | Ca | Mg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (%) | (%) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (kg/tms) | (ppm) | (kg/tms) | (ppm) | (ppm) |
| Boues liquides non chaulées | 3.27 | 75.54 | 100.0 | 629.0 | 440.3 | 1.008 | 4891 | 5.90 | 17494 | 4010 |
| Boues déshydratées non chaulées | 14.70 | 74.15 | 564.0 | 730.0 | 511.0 | 1.170 | 5213 | 6.30 | ----- | ---- |
| COND 300 + 24 hrs | 16.90 | 53.25 | 24.0 | 111.0 | 77.7 | 0.178 | 2960 | 3.60 | ----- | ---- |
| COND 500 + 24 hrs | 20.20 | 42.57 | 15.0 | 15.0 | 10.5 | 0.024 | 2197 | 2.60 | ----- | ---- |
| STAB 300 + 24 hrs | 21.00 | 41.90 | 27.0 | 350.0 | 245.0 | 0.561 | 4429 | 5.30 | ----- | ---- |
| STAB 500 + 24 hrs | 24.70 | 33.20 | 23.0 | 129.0 | 90.3 | 0.207 | 2894 | 3.50 | ----- | ---- |
| COND 300 + 1 sem. | 16.90 | 57.65 | 46.0 | 372.0 | 260.4 | 0.596 | 4966 | 6.00 | 327490 | 5531 |
| COND 500 + 1 sem. | 20.90 | 42.10 | 27.2 | 320.0 | 224.0 | 0.513 | 1979 | 2.40 | 219678 | 4789 |
| STAB 300 + 1 sem. | 19.20 | 46.35 | 22.7 | 270.0 | 189.0 | 0.433 | 3710 | 4.50 | 193190 | 4211 |
| STAB 500 + 1 sem. | 24.60 | 31.71 | 27.3 | 611.0 | 427.7 | 0.979 | 3312 | 4.00 | 285570 | 3994 |

1 : Valeur calculée: P disponible = 0.7 x P total
2 : Valeur calculée: $P_2O_5$ disponible = P disp/1000 x 2.29
3 : Valeur calculée: $K_2O$ disponible = K total x 1.20

### 6.3.6. Valeur en amendement calcaire des boues

Afin de déterminer la valeur des boues comme amendement calcaire, les échantillons de boues chaulées et non chaulées ont été analysées en laboratoire en utilisant la méthode de caractérisation de la pierre à chaux agricole (BNQ 0419-070). Cette analyse permet d'évaluer la valeur d'un matériel minéral comme amendement calcaire. On obtient ainsi une valeur en équivalent carbonate de calcium (E.C.C.). Par exemple, un E.C.C. de 50 signifie que le matériel analysé a une valeur en amendement calcaire équivalent à 50% de celle du carbonate de calcium pur.

Les résultats obtenus avec les boues sont très variables et ne semblent pas représenter la réalité. Il semble donc que cette méthode d'analyse ne soit pas "adaptable" complètement à un produit comme les boues, riche en matières volatiles. Idéalement la détermination de la valeur en amendement calcaire des boues devrait pouvoir être obtenue grâce à une analyse chimique; cependant, cette V.A.C. peut être déterminée à partir d'un calcul tenant compte de la chaux ajoutée aux boues.

En prenant pour acquis une valeur en amendement calcaire égale à 0 pour les boues non chaulées et connaissant l'E.C.C. de la chaux ajoutée ainsi que les proportions du mélange, on peut établir un E.C.C. théorique pour les boues. Dans ce calcul, il a été tenu compte de l'augmentation du taux de matière sèche des boues lors de l'hydratation de la chaux vive ajoutée en stabilisation. (Voir tableau 6.9).

La finesse de mouture de la pierre à chaux agricole détermine, avec l'E.C.C., l'indice de valeur agricole d'une pierre à chaux particulière. Etant donné la finesse des particules de chaux hydratée, on peut considérer que l'indice de valeur agricole (I.V.A.) des boues chaulées en conditionnement correspond à la valeur de l'E.C.C. mesurée lors de l'analyse ou calculée d'après la quantité de chaux ajoutée.

Pour ce qui est de la chaux vive, le type de chaux utilisé comportait une proportion de particules grossières. Cependant, il est très probable que lors de l'hydratation de ces particules, celles-ci se désagrègent dans la masse de boues. De plus, il y a d'autres types de chaux vive sur le marché où la finesse de mouture est encore plus élevée. Pour ces raisons, dans le cas des boues chaulées, l'I.V.A. correspond à la valeur de E.C.C..

A partir de ces calculs et analyses de laboratoire, il a été établi pour chaque type de boue, une valeur représentant le nombre de kilogrammes d'équivalent carbonate de calcium pour chaque tonne de matière sèche de boue. Ces valeurs correspondent aux colonnes "V.A.C. théorique" et "V.A.C. analysée" du tableau 6.9.

A partir de ces chiffres, il est possible d'évaluer la quantité de boue nécessaire pour élever le pH d'une valeur "x" sur un sol type.

Si on met de côté les résultats obtenus par analyse, ceux-ci étant très inconsistants, pour examiner la valeur en amendement calcaire calculée, on s'aperçoit que la boue chaulée peut très bien être valorisée en agriculture sur la base de sa valeur en amendement calcaire.

L'indice de valeur agricole minimum d'une pierre à chaux agricole est de 62%, celui de la boue chaulée à 300 kg CaO/t.m.s. est de 37 ou 38% alors que pour la boue chaulée à 500 Kg CaO/t.m.s., on obtient un I.V.A. de plus de 50%.

Des essais menés en Europe ont démontré que les boues chaulées amènent une élévation de pH du sol très voisine de celles provoquées par des écumes de sucrerie ou par du carbonate de calcium pulvérisé, si on se base sur une même dose de CaO apportée.[1]

La V.A.C. d'une boue chaulée dépend directement de la quantité de chaux ajoutée aux boues, ce qui en fait un paramètre nettement plus fiable et constant que la teneur en azote ou en phosphore.

TABLEAU 6.9: VALEUR EN AMENDEMENT CALCAIRE DES BOUES SELON CALCUL THEORIQUE ET RESULTATS D'ANALYSES.

| Types de boues | V.A.C. théorique (ecc) | V.A.C. analysée (ecc) | V.A.C. théorique (kg $CaCO_3$/tms) | V.A.C. analysée (kg $CaCO_3$/tms) |
|---|---|---|---|---|
| Boues liquides non chaulées | 0.00 | 18.90 | 0.00 | 189.00 |
| Boues deshydratees non chaulées | 0.00 | 36.33 | 0.00 | 363.30 |
| COND 300 + 24 hrs | 37.85 | 33.07 | 378.50 | 330.70 |
| COND 500 + 24 hrs | 52.82 | 43.93 | 528.20 | 439.30 |
| STAB 300 + 24 hrs | 37.08 | 41.66 | 370.80 | 416.60 |
| STAB 500 + 24 hrs | 51.35 | 64.17 | 513.50 | 641.70 |
| COND 300 + 1 sem. | 37.85 | 83.78 | 378.50 | 837.80 |
| COND 500 + 1 sem. | 52.82 | 41.63 | 528.20 | 416.30 |
| STAB 300 + 1 sem. | 37.08 | 39.71 | 370.80 | 397.10 |
| STAB 500 + 1 sem. | 51.35 | 82.42 | 513.50 | 824.20 |

6.3.7. Les métaux lourds présents dans les boues

Au tableau 6.10 se trouvent les teneurs en métaux lourds des boues liquides et des boues déshydratées chaulées ainsi que celles mesurées dans la chaux.

Il est à remarquer que les teneurs en métaux sont plus élevées dans la chaux vive que dans la chaux hydratée. Cependant, les doses étant établies selon la teneur de la chaux en équivalent CaO, ou ajoute globalement la même quantité de métaux dans chacun des procédés.

L'aluminium n'est pas un métal lourd mais sa présence dans le sol en grande quantité peut causer des problèmes, principalement au niveau du phosphore. Les boues de St-Hyacinthe ne proviennent pas d'une usine où il y a traitement de déphosphotation à l'alun, procédé qui peut amener une augmentation de la teneur des boues en

aluminium. Cependant, ce métal se retrouve en quantité relativement importante dans la chaux; on constate néanmoins que les teneurs observées dans la boue chaulée restent faibles.

Pour ce qui est des autres métaux, on observe que tous se trouvent en-deçà de la norme maximale obligatoire établie par le Ministère de l'Environnement du Québec. Seul le cobalt mesuré dans le Cond 500 dépasse la norme recommandée sans toutefois atteindre la teneur maximale obligatoire.

La teneur des boues en bore, nickel et zinc est nettement plus élevée dans les boues que dans la chaux sans pour autant que l'on puisse considérer ces teneurs des boues comme anormalement élevées.

Par contre, les boues contiennent la même quantité de manganèse que la chaux.

Toutes les boues chaulées étudiées peuvent donc être considérées comme aptes à la valorisation agricole et dans la plupart des cas leur teneur en métaux lourds se trouve bien en-deçà des valeurs limites.

Généralement, l'effet de dilution lors de l'ajout de chaux amène une légère diminution des teneurs en métaux lourds dans le produit final.

TABLEAU 6.10: COMPOSITION DES BOUES LIQUIDES ET DESHYDRATEES EN METAUX LOURDS (mg/kg de matière sèche).

| Types de boues | Al | As | B | Cd | Cr | Co | Cu | Mn | Hg | Mo | Ni | Pb | Se | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Chaux vive | 2853 | 1.26 | 8.7 | <1.0 | 8.08 | <1.0 | <2 | 281 | <0.1 | <4 | <4.0 | <10 | 0.88 | 6.06 |
| Chaux hydratée | 1248 | 0.69 | 5.8 | <1.0 | 6.86 | <1.0 | <2 | 207 | <0.1 | <4 | <4.0 | <10 | 0.55 | 4.39 |
| Boues liquides non chaulées | 50.1 | <10.00 | 25.0 | <0.5 | 6.3 | 30.7 | 228 | 231 | <10.0 | <2 | 46.0 | <10 | <10.00 | 226.00 |
| COND 300 + 1 sem. | 59.3 | <10.00 | 10.6 | <0.5 | 10.0 | 21.8 | 197 | 266 | <10.0 | <2 | 40.2 | <10 | <10.00 | 224.00 |
| COND 500 + 1 sem. | 49.5 | <10.00 | 17.0 | <0.5 | 17.5 | 72.5 | 593 | 250 | <10.0 | <2 | 28.5 | <10 | <10.00 | 416.00 |
| STAB 300 + 1 sem. | 46.0 | <10.00 | 2.7 | <0.5 | 16.8 | 18.9 | 161 | 220 | <10.0 | <2 | 30.3 | <10 | <10.00 | 204.00 |
| STAB 500 + 1 sem. | 44.1 | <10.00 | 5.5 | <0.5 | 8.9 | 12.3 | 151 | 206 | <10.0 | <2 | 25.4 | <10 | <10.00 | 17.40 |
| Teneurs recommandées (MENVIQ) | ---- | 15 | 100 | 10 | 500 | 50 | 600 | 800 | 5 | 20 | 100 | 300 | 14 | 1750 |
| Teneurs obligatoires (MENVIQ) | ---- | 30 | 200 | 15 | 1000 | 100 | 1000 | 1500 | 10 | 25 | 180 | 500 | 25 | 2500 |

## 6.4. Valeur fertilisante et valeur en amendement calcaire

A partir des résultats d'analyse des boues en N, P et K et du calcul effectué pour déterminer la valeur des boues comme amendement calcaire, il est possible d'évaluer globalement les possibilités d'utilisation de celles-ci en agriculture.

On peut établir les doses d'épandage des boues de plusieurs façons; en sa basant sur le contenu en azote disponible, sur le contenu en phosphore disponible ou encore sur la valeur des boues comme amendement calcaire.

Différents scénarios d'utilisation ont été établis, ceux-ci sont basés sur la teneur des boues en azote disponible et en équivalent $CaCO_3$. Les résultats obtenus pour le phosphore semblent trop éloignés de la norme pour que l'on puisse en tenir compte.

Le tableau 6.11 montre la quantité de boue nécessaire pour couvrir les besoins d'un sol en chaux et en éléments majeurs pour la culture du maïs et de l'orge.

Les besoins en chaux ont été établis pour un sol type dont le pH tampon se trouve à 6.5; pour amener le pH ($H_2O$) du sol à 6.5, il faut épandre 4 tonnes de $CaCO_3$ à l'hectare, ce qui correspond à 5.48 tonnes de chaux agricoles à un I.V.A. de 73%.

Il faudra généralement une quantité moins importante de chaux pour élever le pH d'un sol léger comparativement à la quantité de chaux nécessaire à une même élévation de pH dans un sol lourd. La méthode de détermination des besoins en chaux SMP (Shoemaker, McLean et Pratt, 1961) tient compte de ces variations.

Dans le tableau 6.11, la colonne "$CaCO_3$ théorique" correspond à une valeur en amendement calcaire calculé d'après la quantité de chaux ajoutée aux boues.

La colonne "$CaCO_3$ analyse" correspond à une valeur en amendement calcaire mesurée par l'analyse de laboratoire; celle-ci s'étant révélée peu fiable, ces résultats ne sont présentés ici qu'à titre indicatif.

Les doses de fertilisation pour le maïs et l'orge correspondent aux niveaux moyens rencontrés au Québec. La dose maximale d'azote disponible pouvant être apportée par les boues est fixée à 135 kg/ha par le MENVIQ. Les calculs présentés ici prennent néanmoins en compte les doses moyennes utilisées au Québec.

En examinant le tableau 6.11, on s'aperçoit ainsi qu'il faut épandre entre 14 et 17 t.m.s./ha de boues chaulées pour couvrir 100% des besoins en azote dans le maïs et entre 6 et 7 t.m.s./ha pour couvrir les mêmes besoins dans l'orge.

Les quantités de boues nécessaires pour couvrir les besoins en phosphore semblent ici très élevées; cependant, il ne faut pas oublier que les résultats d'analyse indiquent une teneur très faible dans les boues.

TABLEAU 6.11: VALEUR FERTILISANTE ET VALEUR EN AMENDEMENT CALCAIRE DES BOUES; QUANTITES NECESSAIRES (t.m.s./ha) POUR COMBLER LES BESOINS INDIQUES.

| Type de boues | CaCO3 théorique | CaCO3* analyse | Maïs | | | Orge | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | IVA:100 | IVA:100 | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ |
| Besoins (kg/ha) | 4000 | 4000 | 165 | 90 | 110 | 70 | 50 | 55 |
| BDNC | ---- | 11.01 | 7.79 | 76.92 | 17.46 | 3.30 | 42.74 | 8.73 |
| COND 300 | 10.57 | 4.77 | 14.39 | 151.01 | 18.33 | 6.10 | 83.89 | 9.17 |
| COND 500 | 7.57 | 9.61 | 16.22 | 175.44 | 45.83 | 6.88 | 97.47 | 22.92 |
| STAB 300 | 10.79 | 10.07 | 13.82 | 207.85 | 24.44 | 5.86 | 115.47 | 12.22 |
| STAB 500 | 7.79 | 4.85 | 16.55 | 91.93 | 27.50 | 7.02 | 51.07 | 13.75 |

* Présenté à titre indicatif seulement.

Il est impossible de combler 100% des besoins en fertilisant et en chaux pour chacun de ces éléments en utilisant uniquement les boues. Examinons ce qui se passe si on comble 100% des besoins en azote dans une culture de maïs (tableau 6.12). Dans tous les cas, une telle pratique amène un surdosage de $CaCO_3$. Dans le cas des doses 300, la quantité de $CaCO_3$ en trop ne devrait pas avoir de conséquences néfastes pour la croissance du maïs mais on ne recommande quand même pas un tel ajout de $CaCO_3$ en une seule application. Par contre, dans le cas des doses à 500, on amènerait plus de 8.5 t de $CaCO_3$ à l'hectare, c'est-à-dire plus du double de la quantité nécessaire. Une bonne partie des besoins en potassium serait aussi comblée; entre 35 et 80% selon le type de boue.

TABLEAU 6.12: QUANTITES DE BOUES NECESSAIRES POUR COMBLER 100% DES BESOINS EN AZOTE DANS LE MAIS: PROPORTION DES BESOINS COMBLES EN P205, K20 ET AMENDEMENT CALCAIRE.

| Type de boues | Boues épandues sur base de N maïs | % des besoins comblés | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $CaCO_3$ * | $P_2O_5$ | $K_2O$ |
| Besoins (kg/ha) | 165 | 4000 | 90 | 110 |
| BDNC | 7.79 tms/ha | 0 % | 10.1 % | 44.6 % |
| COND 300 | 14.39 tms/ha | 136 % | 9.5 % | 78.5 % |
| COND 500 | 16.22 tms/ha | 214 % | 9.2 % | 35.4 % |
| STAB 300 | 13.82 tms/ha | 128 % | 6.6 % | 56.5 % |
| STAB 500 | 16.55 tms/ha | 212 % | 18.0 % | 60.2 % |

* $CaCO_3$ théorique, IVA : 100

Le tableau 6.13 présente le même scénario pour la culture de l'orge. Les besoins sont moins élevés, cependant on remarque qu'en couvrant 100% des besoins en azote avec une boue chaulée à 300 kg CaO/t.m.s., on couvre en même temps environ 50% des besoins en chaux. Si on utilise une boue chaulée à 500 kg CaO/t.m.s., on amène alors 90% de la chaux nécessaire.

TABLEAU 6.13: QUANTITES DE BOUES NECESSAIRES POUR COMBLER 100% DES BESOINS EN AZOTE DANS L'ORGE; PROPORTION DES BESOINS COMBLES EN P205, K20 ET AMENDEMENT CALCAIRE.

| Type de boues | Boues épandues sur base de N orge | % des besoins comblés | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $CaCO_3$ * | $P_2O_5$ | $K_2O$ |
| Besoins (kg/ha) | 70 | 4000 | 50 | 55 |
| BDNC | 3.30 tms/ha | 0 % | 7.7 % | 37.8 % |
| COND 300 | 6.10 tms/ha | 57.7 % | 7.3 % | 66.5 % |
| COND 500 | 6.88 tms/ha | 90.9 % | 7.1 % | 30.0 % |
| STAB 300 | 5.86 tms/ha | 54.3 % | 5.1 % | 47.9 % |
| STAB 500 | 7.02 tms/ha | 90.1 % | 13.7 % | 51.0 % |

* $CaCO_3$ théorique, IVA : 100

Si on veut utiliser la boue comme amendement calcaire afin d'amener l'équivalent de 4 tonnes de $CaCO_3$/ha, les besoins en azote, phosphore et potassium seront comblés selon les proportions présentées au tableau 6.14. Avec la boue chaulée à 300 kg CaO/t.m.s., on couvre 75% des besoins en azote dans le maïs et près du double des besoins en azote dans l'orge tout en amenant la moitié du potassium nécessaire dans le maïs et 100% du potassium dans l'orge. En utilisant une boue chaulée à 500 kg CaO/t.m.s., on couvre 50% des besoins en azote dans le maïs et 110% des besoins en azote dans l'orge, tout en couvrant environ 20 à 45% des besoins en potassium.

TABLEAU 6.14: QUANTITES DE BOUES NECESSAIRE POUR COMBLER 100% DES BESOINS MOYENS EN CaCO3: PROPORTION DES BESOINS COMBLES EN N, P2O5 ET K2O POUR LA CULTURE DU MAIS ET DE L'ORGE.

| Type de boues | Boues valorisées | MAIS % des besoins comblés | | | ORGE % des besoins comblés | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | sur base de CaCO3 * | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ |
| Besoins (kg/ha) | 4000 | 165 | 90 | 110 | 70 | 50 | 55 |
| COND 300 | 10.57 tms/ha | 73.4 % | 7.0 % | 57.7 % | 173.3 % | 12.6 % | 115.3 % |
| COND 500 | 7.57 tms/ha | 46.7 % | 4.3 % | 16.5 % | 110.0 % | 7.8 % | 33.0 % |
| STAB 300 | 10.79 tms/ha | 78.1 % | 5.2 % | 44.1 % | 184.1 % | 9.3 % | 88.3 % |
| STAB 500 | 7.79 tms/ha | 47.1 % | 8.5 % | 28.3 % | 111.0 % | 15.2 % | 56.6 % |

* $CaCO_3$ théorique, IVA : 100

En utilisant les résultats présentés dans ces différents tableaux, on peut évaluer la quantité de chaux à ajouter aux boues pour préparer une boue chaulée qui pourrait couvrir 100% des besoins en azote tout en amenant au sol tout l'amendement calcaire nécessaire, et ce pour chacune des cultures.

Dans le cas du maïs, on peut évaluer qu'avec 230 kg CaO/t.m.s. de boue, on peut amener en un seul épandage 100% des besoins en azote du maïs tout en ajoutant l'équivalent de 4 t/ha de $CaCO_3$, soit un chaulage moyen. Une telle dose de chaux dans les boues devrait sûrement permettre une élévation de pH suffisante pour permettre une hygiénisation des boues. Pour ce qui est de l'orge, la dose de chaux nécessaire pour produire une boue chaulée qui amène 70 kg d'azote à l'hectare et 4 tonnes de $CaCO_3$/ha est équivalente à environ 545 kg CaO/t.m.s. de boue.

Si on utilise 460 kg CaO/t.m.s. (le double de la dose préparée dans le maïs) on obtient une boue chaulée permettant d'effectuer un chaulage normal en amenant 50% de la dose d'azote dans le maïs. Cette alternative peut s'avérer très intéressante en pratique.

Il s'agit ici pour ces deux dosages d'une moyenne; que l'on utilise le procédé de chaulage en conditionnement ou en stabilisation, ces valeurs varient peu.

Quelques questions demeurent quant à la valeur des boues chaulées comme amendement calcaire. La chaux vive ou hydratée ajoutée aux boues se présente avec une granulométrie très fine et on peut se demander qu'elle est la vitesse de réaction d'un tel matériel dans le sol.

Une autre question importante concerne le phosphore. En admettant que les boues chaulées contiennent une part appréciable de phosphore disponible, ce qui est généralement le cas, l'épandage visant à amener 100% des besoins en azote ou en amendement calcaire risque de provoquer une accumulation de phosphore dans les sols.

La chaux présente dans les boues chaulées en constitue la composante la plus importante, de plus il s'agit du seul élément dont la teneur peut être contrôlée. C'est pourquoi les boues chaulées devraient être valorisées en agriculture sur la base de leur valeur en amendement calcaire; cependant, le plan de fertilisation des sols doit prendre en compte les apports de fertilisants lors de l'épandage.

Sous quelles formes retrouve-t-on le phosphore dans les boues chaulées? On peut s'attendre à retrouver dans les boues chaulées une bonne proportion de ce phosphore combiné au calcium pour former des phosphates calciques relativement insolubles et très peu disponibles pour les plantes.

L'azote disponible présent dans les boues chaulées représente environ la moitié de celui que l'on retrouve dans les boues non chaulées. Deux facteurs contribuent à cette diminution: il y a une perte presque totale de l'azote ammoniacal des boues et cette forme d'azote contribue pour une bonne part à former l'azote dit "disponible". D'autre part, la chaux ajoutée sous forme vive ou hydratée ne contient pratiquement pas d'azote et contribue ainsi à diluer la part de l'azote dans les boues chaulées.

L'azote présent dans les boues chaulées se trouve presque exclusivement sous forme organique et ne devrait donc être disponible que graduellement, au rythme auquel la minéralisation se produit, ce qui diminue les risques de lessivage et de pollution diffuse.

Pour ce qui est du potassium, les boues de St-Hyacinthe sont particulièrement riches en cet élément et les boues chaulées permettent d'apporter une part importante de K nécessaire à la croissance des plantes.

Le magnésium est un élément important pour la croissance des plantes et on le retrouve de plus en plus souvent ajouté aux fertilisants minéraux majeurs. Il est intéressant de noter qu'en plus du 0.4% de Mg présent dans les boues, une part de magnésium supplémentaire est ajoutée avec la chaux utilisée.

Avec un taux de matière volatile se situant entre 30 et 60% pour les boues chaulées, l'apport de matière organique ne peut être négligé, d'autant plus que son rapport C/N peu élevé en fait un matériel qui entraîne rapidement une augmentation de l'activité biologique du sol, sans oublier l'effet bénéfique sur la structure du sol.

## 6.5. Analyse physique des boues

### 6.5.1. Entreposage au froid

Durant la congélation, toutes les masses se sont formées en bloc. à cause du fort contenu en eau. Une fois décongelés et drainés, les amas étaient recouverts d'une croûte de 3 à 5 cm, gonflée, beaucoup mieux drainée et friable que l'intérieur.

Dans la partie du pourtour de l'amas (variant de 6 à 12 cm), une multitude de petits canaux vides (0.5 mm dia.) étaient facilement visibles, représentant l'espace occupé par l'eau congelée. Cette multitude de canaux devrait favoriser un drainage très rapide dans la partie superficielle de l'amas. Cependant, dans la partie intérieure et du bas de l'amas, l'apparence et la consistance s'approchent graduellement de celle observée sur une boue normale. La portion des boues au-dessous de l'amas était aussi beaucoup plus humide que la portion dépassant les contours du cadre de rétention.

Uniquement dans les amas de boues conditionnées, l'interface entre la croûte et l'intérieur de l'amas, était noirci et nauséabonde sur une épaisseur d'environ 2 à 3 cm. La chaux a donc tendance à migrer vers l'extérieur ou l'intérieur, à cet interface, dans le cas du conditionnement.

Le tableau 6.15 montre les quantités de lixiviat obtenues lors du dégel des boues congelées et comparées avec des boues non congelées. Il faut noter que la durée de drainage n'est pas équivalente, mais les boues congelées ne coulaient plus après cette période. La boue décongelée non chaulée a drainé beaucoup plus d'eau que les autres boues décongelées. Il n'y a pas de différence importante entre les doses et le taux de matières sèches final n'a pas été analysé.

La quantité drainée des boues conditionnées décongelées est supérieure de 86% à celles des boues stabilisées décongelées, d'autant plus que ces dernières ne se drainaient plus après 4 jours. Pour une durée équivalente, les volumes d'eau des boues décongelées sont supérieurs à ceux des boues non congelées (11% en COND, 115% en STAB).

Pour les doses à 500 kg, il est aussi sorti plus d'eau des boues décongelées à court terme (4 et 72%), que des boues non congelées à long terme (29 jours); pour les doses à 300 kg, il en est sorti 25% de moins.

Ceci confirme que le gel-dégel améliore la rapidité de drainage. Il a aussi augmenté la quantité drainée avec la dose à 500 kg.

TABLEAU 6.15: VOLUMES DE DRAINAGE DES BOUES CONGELEES ET NON CONGELEES

| TYPE DE BOUES | Décongelée après 7 jrs (l) | Décongelée après 13 jrs (l) | Non congelée ajusté à 22.5 l 11 jrs (l) | Non congelée ajusté à 22.5 l 29 jrs (l) |
|---|---|---|---|---|
| BDNC | - | 7.25 (11 j) | - | - |
| COND 300 | - | 5.06 | 4.98 | 6.08 |
| COND 500 | - | 4.10 | 3.26 | 3.95 |
| STAB 300 | 2.0* | - | 1.41 | 2.51 |
| STAB 500 | 2.9* | - | 0.87 | 1.68 |

* : complètement drainées après 4 jours.

Note: inclut le temps de décongélation
volume de base = 22.5 l pour chaque boue

6.5.2. Essais de drainage

Le tableau 6.16 montre les résultats de l'essai de drainage des boues. Après 29 jours, les boues en stabilisation s'égouttaient légèrement encore, mais les autres atteignaient un point d'écoulement presque nul. Environ 82% du volume final en conditionnement et 53% en stabilisation était obtenu après 11 jours. Les boues stabilisées requièrent une plus longue période de drainage qu'en conditionnement. Une période d'égouttement plus longue qu'un mois ne ferait qu'augmenter légèrement la quantité de lexiviat récolté, mais un mois s'avère un minimum à prévoir. Les boues en conditionnement drainent environ 2.4 fois plus d'eau qu'en stabilisation. Aussi, les boues à 300 kg de CaO drainent 1.5 fois plus d'eau qu'à 500 kg. De plus, la boue non chaulée draine plus d'eau que toute autre boue.

Malgré ces constatations, on remarque la relation importante suivante: le volume d'eau drainée est directement proportionnel au taux de matières sèches initial des boues. Toutefois, pour un taux équivalent de matière sèche, la boue COND 500 a drainé 1.5 fois plus d'eau que la boue STAB 300. Ainsi, il apparaît malgré tout que les boues conditionnées ont permis une plus grande quantité de drainage et un drainage plus rapide que les boues stabilisées. Par cet essai, on ne peut cependant pas conclure que la quantité de chaux améliore ou non le drainage, à cause du taux de matières sèches qui varie aussi selon la dose de chaux.

Les valeurs du taux de matières sèches final théorique (dernière colonne) montrent un écart final (21 à 26%) moins grand qu'au début (15 à 25%). D'autre part on constate que, peu importe le taux de matières sèches initial, toutes les boues chaulées se drainent bien jusqu'à une valeur approchant 22-24%, après quoi l'écoulement est beaucoup plus lent jusqu'à 25 à 27% de matières sèches, point auquel l'écoulement semble devenir négligeable. En conclusion, pour obtenir un entreposage avec peu ou pas d'écoulement, il faut viser un taux de matières sèches encore plus élevé, soit environ 30%, quelque soit le type de boues chaulées du présent projet. On remarque aussi que les boues stabilisées ont un taux de matières sèches généralement plus élevé que les boues conditionnées, avant comme après le drainage et que plus ce taux est élevé au début et plus il le sera à la fin du drainage.

Le tableau 6.16 montre aussi que les lixiviats obtenus représentent entre 7.5 et 27% du volume total, dépendant du taux de matières sèches initial. De tels volumes peuvent être jugés excessifs et problématiques, si on vise un transport par camion standard et un entreposage sans mesure de retenue ou de récolte du lixiviat.

Ces résultats se comparent aux données disponibles sur le fumier de vaches laitières avec paille, qui indiquent que 20% de la masse évacuée de l'étable se retrouve sous forme de purin et que le taux de matières sèches final des tas de fumier est d'environ 25%.

### 6.5.3. Essais d'hydratation et de lessivage

Le tableau 6.17 montre les volumes totaux (drainage + lessivage) et partiel (lessivage) obtenus après 11 et 29 jours suivant le début de l'arrosage. Tel que remarqué à l'essai précédent, les boues conditionnées ont drainé au total, plus d'eau (27 à 57%) que les boues stabilisées. Cependant, on ne note pas de différence concluante entre les doses à 300 et 500. Les boues conditionnées avait libéré 92% de l'eau à 11 jours, comparé à 60% en stabilisation.

L'analyse de la portion qui provient de l'arrosage seulement, montre que les boues conditionnées rejettent moins d'eau (63%), même après un mois et se réhydratent davantage par la pluie que les boues stabilisées (87%). Seulement 25% de l'eau de pluie est rejetée dans les boues non chaulées. Cette constatation est à l'inverse des résultats de drainage. De plus, le volume rejeté semble directement proportionnel au taux de matière sèche initial de la boue. Pour cette raison, on ne peut être certain que les doses à 300 retiennent vraiment 1.5 à 2 fois plus d'eau que les doses à 500, puisque les taux de matière sèche initiaux ne sont pas comparables.

Mentionnons que cet essai est une hydratation forcée de sorte que l'eau devait complètement passer au travers des boues. Ainsi, lors de l'arrosage, l'eau s'infiltrait en quelques minutes dans les boues conditionnées et non chaulées, alors qu'elle prenait jusqu'à plusieurs jours pour les boues stabilisées. Ainsi, la vitesse d'absorption est très supérieure pour les boues conditionnées alors que les boues déshydratées ne se réhydratent pas facilement.

Les trois dernières colonnes montrent l'évolution du taux de matière sèche en fonction du temps. De façon générale, ils sont plus bas que dans l'essai de drainage, confirmant que les masses se réhydratent, sauf pour les doses à 500 kg. Ainsi, plus il y a de chaux, moins la boue se réhydrate et retient d'eau.

En conclusion, les boues stabilisées ont très peu tendance à laisser pénétrer l'eau, celle qui pourrait y pénétrer en est évacuée rapidement. Plus la dose de chaux est grande et plus ceci est vrai. Pour ce qui est du conditionnement, l'eau pénètre rapidement et une bonne proportion est réabsorbée, ce qui diminue la siccité de la boue. Comme pour la stabilisation, une augmentation de la dose de chaux diminue la réhydratation, favorisant une meilleure évacuation de l'eau de pluie.

On ne peut dire combien de temps il faut prévoir pour que l'eau de pluie uniquement s'égoutte, sans être influencée par la partie drainage. D'autre part, lorsqu'il y a moins de chaux (dose à 300), un temps supplémentaire d'égouttement (plus long que pour les doses à 500) pourrait être nécessaire et aurait peut-être permis d'obtenir plus de volume, de même qu'une siccité finale plus élevée. En résumé, moins il y a de chaux et plus de temps il faudrait permettre pour lessiver le

maximum d'eau de pluie. Malgré tout, une réhydratation semble quand même présente. Enfin, comme pour le drainage, le taux de matière sèche atteint environ 23-25% lorsque l'égouttement cesse.

TABLEAU 6.16: RESULTATS DES ESSAIS DE DRAINAGE

| TYPE DE BOUES | MST initial (%) | Volume initial (l) | Drainage à 11 jrs (l) | Drainage à 29 jrs (l) | Perte d'eau eau 29 jrs (%) | Perte totale total 29 jrs (%) | MST calculé 29 jrs (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BDNC (1) | 14.7 | 22.5 | 7.25 | - | 37.0 | 32.2 (2) | 20.7 |
| COND 300 | 16.9 | 35.0 | 7.75 | 9.45 | 31.4 | 27.0 | 21.9 |
| COND 500 | 20.2 | 35.0 | 5.07 | 6.15 | 21.3 | 17.6 | 23.9 |
| STAB 300 | 21.0 | 35.0 | 2.20 | 3.90 | 13.5 | 11.1 | 23.1 |
| STAB 500 | 24.7 | 35.0 | 1.35 | 2.62 | 9.4 | 7.5 | 26.3 |

(1) Ces boues ont été congelées avant d'être utilisées et l'essai de drainage a été effectué après celui des autres boues.
(2) % basé sur la valeur à 11 jours pour cette boue.

TABLEAU 6.17: RESULTATS DES ESSAIS D'HYDRATATION ET DE LESSIVAGE

| TYPE DE BOUES | MST initial (%) | Volume écoulé à 11 jrs (l) | Volume écoulé à 29 jrs (l) | Perte d'eau eau totale 29 jrs (%) | Volume total moins drainage (l) (1) | MST mesuré % suivant la fin d'arrosage après 1 jr | après 7 jrs | MST calculé à 29 jrs (% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BDNC (2) | 14.7 | - | 8.28 | 34.3 | 1.03 | 19.4 | 18.4 | 16.8 |
| COND 300 | 16.9 | 9.90 | 11.35 | 32.8 | 1.90 | 21.2 | 20.7 | 19.8 |
| COND 500 | 20.2 | 9.73 | 10.00 | 30.0 | 3.85 | 21.7 | 23.6 | 23.0 |
| STAB 300 | 21.0 | 2.45 | 7.25 | 21.6 | 3.35 | 17.2 | 17.5 | 21.8 |
| STAB 500 | 24.7 | 6.60 | 7.85 | 24.5 | 5.23 | 23.9 | 24.5 | 26.4 |

(1) Calculé en soustrayant le volume drainé du tableau 6.16 à 29 jours.
(2) Cette boue a été congelée avant d'être utilisée; volume mesuré à 21 jrs parce qu'il ne coulait plus, cet essai a été effectué après les autres boues.
- Le volume d'eau ajouté est de 4.5 l pour chaque boue.
- Les volumes initiaux sont présentés au tableau précédent.

## 6.5.4. Qualité du lixiviat

Les tableaux 6.18 et 6.19 montrent la qualité du lixiviat après les essais de drainage et d'hydratation. La quantité de matière sèche est 1.5 fois plus élevée pour les boues stabilisées, comme si la fixation des particules était moins forte qu'en conditionnement. Entre les doses, la différence n'est que de 10% supérieure pour les boues à 300 que les boues à 500. D'autre part, les lixiviats contiennent environ 75 à 80% de matières volatiles, comparativement à 30-50% pour les boues originales et elles ne sont que légèrement plus élevées dans les boues conditionnées que stabilisées. Ainsi, les boues conditionnées ont déjà passé sur le filtre à bande et auraient probablement déjà perdu des particules facilement transportables par l'eau et plus spécifiquement de type non volatil alors qu'elles sont encore là dans les boues stabilisées; justifiant un taux de matière sèche plus élevé et de matière volatile plus bas dans les eaux de drainage de ces dernières.

Le pH et les matières volatiles baissent légèrement avec l'augmentation de la dose en conditionnement et c'est l'inverse en stabilisation. Ceci joue aussi à l'inverse des matières en suspension. Le filtre à bande pourrait expliquer cette variation par la filtration de parties plus ou moins volatiles. Visuellement, le lixiviat est brun-jaune et contient très peu de matières sédimentées (2-3% des m.s.t.). Ainsi, la presque totalité des éléments peuvent être considérés comme étant dissouts.

Entre le drainage et l'hydratation on peut noter une légère baisse du taux de matière sèche (4.01 à 3.46%), de solides volatils et des matières en suspension, mais le pH est plus élevé. Des parties non volatiles telles la

chaux, peuvent donc être entraînées, augmentant le pH et diminuant le taux de matière volatile. En conséquence, l'eau de pluie dilue légèrement la concentration du lixiviat mais pas dans une proportion équivalente à l'eau apportée. La conductivité est 1.5 fois plus élevée dans les boues stabilisées et indépendante de la dose. Elle est plus élevée dans le lessivage que dans l'essai de drainage en conditionnement. Le pH est aussi plus élevé de 0.5 à 1.0 que la boue originale. Le lexiviat de la boue non chaulée est beaucoup moins concentré et a un pH équivalent à la boue originale. Sa conductivité se situe entre les boues conditionnées et stabilisées.

Le tableau 6.20 montre les résultats d'une analyse complète du lixiviat Cond 300 et les pertes de constituant par le lixiviat, par rapport à la boue originale (boue Cond 300). Le carbone organique et l'azote total sont à 39% et à 10% de la matière sèche que l'on retrouve dans le lixiviat, soit près de la moitié. Les sels semblent représenter 18.5% du total. Le phosphore ne peut être étudié mais peut représenter 10%. La majorité des autres éléments ne contribuent qu'à une infime partie de la matière sèche. L'azote ammoniacal et les nitrates sont peu élevés et les métaux sont très peu mobiles et très peu enclin à être recueillis par l'eau de drainage, peut-être à cause du pH élevé, sauf pour le nickel et le cadmium.

<u>En conclusion, les eaux du lixiviat sont peu chargées en métaux lourds et en éléments divers et il s'agit principalement de carbone organique et d'azote organique.</u>

La dernière colonne montre les pertes de constituants par le lixiviat, par rapport à ce qui était originalement contenu dans la boue complète. Ainsi, 27% de la masse est évacuée par drainage. Ceci représente 31% de l'eau et 5.4% de la matière sèche contenue dans la masse. Il se perd environ 7.3% de la matière volatile confirmant le contenu volatil des eaux du lixiviat.

Certaines portions importantes sont drainées par ces eaux. En effet, 14% de l'azote total, 18.5% du carbone organique total, 8.7% du potassium, 14% du nickel et 64% du cadmium total présent dans la boue sont perdus dans ces eaux de drainage. Par contre, à l'opposé, les autres constituants ne sont perdus que dans des proportions fort négligeables. Ainsi, moins de 1% des métaux lourds (mis à part le nickel et le cadmium) est perdu dans le lixiviat. Enfin, on ne peut commenter sur le contenu perdu en phosphore.

TABLEAU 6.18: QUALITE DU LIXIVIAT APRES LES ESSAIS DE DRAINAGE

| TYPE DE BOUES | % MST | % MVT | % MES | pH | Conductivité (uMhos/cm) | Salinité (mg KCl/l) * |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BDNC | 1.99 | 85.43 | 0.0548 | 6.2 | 9000 | 5760 |
| COND 300 | 3.35 | 79.40 | 0.0824 | 13.1 | 6200 | 3970 |
| COND 500 | 3.07 | 76.55 | 0.1584 | 12.9 | 6500 | 4160 |
| STAB 300 | 4.54 | 74.01 | 0.1000 | 12.9 | 10400 | 6656 |
| STAB 500 | 5.09 | 75.44 | 0.0904 | 13.5 | 11000 | 7040 |

* Calculé selon que 640 mg KCl/l = 1 mhos

TABLEAU 6.19: QUALITE DU LIXIVIAT APRES LES ESSAIS D'HYDRATATION ET DE LESSIVAGE

| TYPE DE BOUES | % MST | % MVT | % MES | pH | Conductivité (uMhos/cm) | Salinité (mg KCl/l) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BDNC | 1.30 | - | - | 8.5 | - | - |
| COND 300 | 3.00 | 83.33 | 0.0548 | 14.0 | 7000 | 4480 |
| COND 500 | 2.87 | 75.96 | 0.0656 | 13.1 | 7300 | 4672 |
| STAB 300 | 4.25 | 63.29 | 0.1092 | 13.0 | 10500 | 6720 |
| STAB 500 | 3.73 | 72.12 | 0.0840 | 13.9 | 10400 | 6656 |

* Calculé selon que 640 mg KCl/l = 1 mhos

TABLEAU 6.20: CARACTERISTIQUES DU LIXIVIAT DE L'ESSAI DE DRAINAGE DU COND 300 ET DES BOUES COND 300 COMPLETES

| PARAMETRE | Boue complète Cond 300 * | Lixiviat de drainage Cond 300 | Perte de constituants par le lixiviat (%) |
|---|---|---|---|
| Volume | 35 l | 9.45 l | 27.0 |
| Humidite | 83.1% | 96.65% | 31.4 |
| S.T. | 16.9% | 3.35% | 5.4 |
| S.V. | 57.6 | 79.4 | 7.3 |
| MES | - | 0.0824 | - |
| pH | 12.6 | 13.1 | - |
| NtK | 35890 | 95522 | 14.3 |
| NH4 | 1000 | 1 | Ng |
| NO2 NO3 | 6.7 | 0 | Ng |
| P total | 372 | 113848 | impossible |
| Ortho P | 46 | 0 | Ng |
| K | 4966 | 8149 | 8.7 |
| COT | 114000 | 391000 | 18.4% |
| Ca | 327490 | 2668 | 0.05 |
| Mg | 5531 | 58 | 0.06 |
| Fe | 7219 | 37 | Ng |
| Na | 1512 | 0 | Ng |
| Ni | 40.2 | 107.5 | 14.3 |
| Cd | <0.5 | 6.0 | 64% |
| Al | 59.3 | <3.0 | - |
| As | <10 | <6 | - |
| B | 10.6 | <3 | ensemble des autres métaux lourds = 0.8% |
| Cr | 10 | <0.2 | - |
| Co | 21.8 | 4.5 | - |
| Cv | 197 | 66 | - |
| Mn | 266 | 1 | - |
| Hg | <10 | <6 | - |
| Mo | <2 | <1 | - |
| Pb | <10 | <1 | - |
| Se | <10 | 8.9 | - |
| Zn | 224 | 19.4 | - |
| Conductivité | - | 3970 | - |
| Redox | - 245 | - 45 | - |

Ng = négligeable,
* = mg/kg m.s. sauf lorsqu'autrement indiqué

### 6.5.5. Observations visuelles au drainage et au lessivage

L'observation des boues drainées et hydratées montre que les boues conditionnées apparaissent plus sèches que les boues stabilisées. La boue non chaulée était visqueuse, gluante, noirâtre et humide; toutes les boues chaulées y sont de loin supérieures en apparence. Les boues drainées ont une meilleure apparence et sont plus sèches que les boues hydratées.

La boue STAB 300 est celle qui apparaît la plus humide et visqueuse au toucher se rapprochant d'une boue normale. Les boues à 300 kg sont plus humides, plus noirâtres et dégagent une odeur plus forte que les boues à 500 qui ont une odeur terreuse de chaux et une apparence grisâtre. Les boues drainées et conditionnées avaient une croûte épaisse (6 cm) très friable comme de la farine. Ceci est graduellement moins le cas pour les boues stabilisées et encore moins pour les boues hydratées.

En terme de texture, les boues conditionnées apparaissent plus granulaires, moins liées, moins gluantes et visqueuses que les boues stabilisées. Toutes les boues chaulées ne sont pas dures, ni granuleuses. Elles contiennent une quantité appréciable de fibres de papier humide ou fibres de cellulose. Ceci rend les boues chaulées morcelables lorsqu'elles atteignent environ 20% m.s. signifiant par là que la boue légèrement manipulée se brisera en morceaux de 3 à 15 cm de dia. se détachant en laissant apparaître les fibres. Il semble difficile, par contre, de faire de très petits morceaux.

Les boues conditionnées drainées sont celles qui apparaissent le plus morcelable. Les boues stabilisées apparaissent aussi morcelables, mais à un moindre niveau que les autres, et sont par le fait même un peu plus visqueuses et humides. En général, il semble que toutes les boues chaulées offrent des caractéristiques à peu près semblables à quelques écarts près. Cependant, en terme d'apparence, les boues conditionnées et drainées sont supérieures de même que les doses à 500.

Dans le cas des boues conditionnées uniquement, sous la croûte de 3 à 6 cm d'épaisseur, une couche noire (1 à 3 cm) s'est formée comme si la chaux avait migré.

Cette boue était plus prononcée avec les boues hydratées (3-6 cm) et plus encore avec la dose 300 qui était noirâtre sur les deux tiers de la hauteur. Lorsque manipulée, cette couche dégage des odeurs équivalentes aux boues non chaulées. Ceci n'a pas été remarqué en les boues stabilisées.

A la fin de l'essai, la boue non chaulée était remplie d'insectes et de vers blancs. De plus seule la boue COND 300 hydratée a montré un début d'insectes et de mouches à sa surface. Etant à proximité de la boue non chaulée, il peut s'agir d'une contamination due à la migration de la chaux.

### 6.5.6. Entreposage en tas à l'extérieur

Les amas de 22.5 litres mis en tas à l'extérieur permettent les observations suivantes. Les boues stabilisées sont restées plus en tas et visqueuses

faisant ressembler à un pâté écrasé. Les boues conditionnées avaient une apparence granuleuse et morcelée, de sorte que les particules sont moins rattachées entre elles. Les boues conditionnées 300 se sont mêmes répandues en fines particules d'environ 1 à 2 cm, par l'action de la pluie. Le COND 500 est resté plus en tas, mais offrait aussi cette apparence granuleuse

Les boues stabilisées restent plus visqueuses et moins morcelables.Les boues stabilisées sont aussi moins attrayantes parce que l'intérieur du tas reste semblable à du beurre, plus particulièrement la STAB 300.

Des traces de migration de la chaux ont pu être notées sur les boues en conditionnement et un peu aussi sur les boues en stabilisation, toujours à l'interface de la croûte de surface (2 à 3 cm) et l'intérieur de la masse du tas, comme si l'eau qui coulait frappait le milieu moins perméable et lessivait une certaine épaisseur de cette interface. Cette couche s'étend jusqu'à la base où l'eau rencontre le plancher.

Un deuxième essai extérieur a été effectué avec les restes contenus dans les barils, soit environ 150 à 200 l. Après 3 jours, les tas en conditionnement étaient mieux formés qu'en stabilisation et les doses en 500 étaient plus grisâtres que les 300.

L'examen individuel indique que l'intérieur de la STAB 300 montre une boue presqu'équivalente à une boue non chaulée. Elle est visqueuse et humide et réagit comme une glaise chargée d'eau. L'apparence est peu attirante mais meilleure qu'une boue non chaulée. Elle s'apparente à un fumier pâteux, légèrement coulant.

La STAB 500 montre une croûte sèche, mais lisse comme si au départ elle était un peu visqueuse et humide. Le tas forme un bon cône. La manipulation intérieure montre que cette boue se maintient beaucoup mieux que la précédente. Le jeu d'un bâton réussit à former de gros morceaux (10-20 cm) qui se détachent bien, en montrant les filaments de papier. Déjà, elle est sèche, n'apparaît plus visqueuse et est attrayante quant à sa manipulation et son apparence.

La boue COND 300 est nettement mieux que les boues STAB. En effet, le tas apparaît plus granuleux et sa forme approche celle de la STAB 500. Lorsque manipulée de l'intérieur, toute la masse se brise en morceaux de 1 à 3 cm, qui se détachent facilement l'un de l'autre. Elle offre un bon attrait visuel qui se compare un peu à du ciment aggloméré en fines boulettes, friables et faciles à défaire. Sa manipulation est meilleure que pour les boues stabilisées. La boue COND 500 est équivalente à la COND 300; il est même difficile de voir qu'elle est moins humide et contient plus de chaux. L'aspect visuel est excellent et ne présente aucune ressemblance avec des boues d'épuration non chaulées.

<u>En conclusion, les boues conditionnées offrent un bon attrait visuel et une bonne manipulation. La STAB 500 s'approche de ces caractéristiques mais forme des morceaux plus gros. L'apparence générale n'est plus celle d'une boue mais bien celle d'un produit plus ou moins granuleux ou morcelé. La STAB 300 n'est pas recommandable dans son état actuel.</u>

### 6.5.7. Affaissement et angle de repos

L'affaissement a été mesuré 3 heures après la vidange des boues. La proportion finale de la hauteur varie de 34% à 70% (tableau 6.21). Les boues conditionnées correspondent à 40 et 48% de la valeur initiale et sont donc semblables en terme de stabilité. La boue STAB 500 s'est très bien maintenue à 70%, alors que la STAB 300 s'est écrasée à 34% confirmant qu'elle ressemble à une boue non chaulée.

L'angle de repos a été mesuré après 1 jour et 3 jours. On note que tous les angles tendent à se stabiliser à environ 33°, ce qui correspond à un rapport de 1:1.5. Seule la boue STAB 300 s'est beaucoup plus écrasée que les 3 autres.

Il reste à vérifier si, dans le cas d'un amas plus gros, cet angle peut être maintenu et étudier la capacité portante de chacune des boues.

TABLEAU 6.21: AFFAISSEMENT ET ANGLE DE REPOS

| TYPE DE BOUES | Hauteur de départ (cm) | Hauteur finale après 3 hres (cm) | Proportion finale % | Angle de repos après 1 jr (degrés) | Angle de repos apres 3 jrs (degrés) |
|---|---|---|---|---|---|
| COND 300 | 55 | 22 | 40 | 39.0 | 34.5 |
| COND 500 | 52 | 25 | 48 | 39.8 | 33.7 |
| STAB 300 | 56 | 19 | 34 | 27.3 | 22.1 |
| STAB 500 | 32 | 22 | 69 | 49.1 | 32.5 |

## 6.6. Implications environnementales

Il est indéniable que les boues telles que nous les avons obtenues présentent un risque de pollution. Le lixiviat représente de 7.5 à 27% de la masse initiale. Il contient en moyenne de 3 à 5% de matière sèche, composée essentiellement de matières dissoutes, à 75% volatiles. Le carbone et l'azote représentent 50% des solides et les sels environ 18%. Le pH est aussi très élevé à 13.0.

On pourrait ainsi s'attendre à l'établissement d'une fermentation rapide avec un tel rapport et une telle quantité de carbone et d'azote sous les formes organiques, si ce n'était du haut pH susceptible d'empêcher toute activité bactérienne. L'implication serait que si le pH était abaissé par l'action des eaux de pluie, une telle fermentation pourrait être alors possible et causer des odeurs nauséabondes aux alentours de l'entreposage. Le lixiviat

contient aussi beaucoup de matières fertilisantes et on pourrait le laisser s'écouler sur le terrain. Mais compte tenu de sa charge et du haut pH, il peut risquer de brûler ou d'arrêter la croissance de la végétation autour du dépôt si en trop fortes doses. D'autre part, compte tenu du fort volume de drainage, il est possible qu'une bonne partie se retrouve dans les fossés et les cours d'eau.

Les solides étant sous la forme dissoute, il est peu probable que les bassins de décantation au bas des tas ou dans les fossés puissent améliorer la qualité du lixiviat. Les éléments, à moins d'être précipités naturellement devraient se maintenir tout aussi polluant avec le temps. L'eau de pluie qui sera absorbée par le tas et lessivée est tout aussi polluante et s'ajoutera au volume de drainage. La pollution des nappes par l'azote est moins problématique, parce que celui-ci est sous la forme organique. Les risques de pollution sont donc très présents et dépendent de la quantité de lixiviat qui se draine des amas de boues.

Ceci limite donc la possibilité de faire un entreposage au hasard des champs des agriculteurs, sans mesure de protection à moins que des règles strictes soient respectées pour permettre que l'eau écoulée puisse être absorbée par le sol. Si on veut appliquer la même règle que pour les fumiers, il faudrait prévoir une structure étanche, ce qui devient problématique et coûteux. Si tel était le cas, la technique de chaulage des boues perdrait tout intérêt. Une telle solution ne serait valable que dans le cas d'entrepôts d'approvisionnement locaux ou régionaux.

En terme de transport, il faut vérifier si un tel produit nécessitera des boîtes étanches. En effet, 15% d'écoulement en 30 jours représente 50 litres/jour ou 2 litres/heure pour un chargement de camion. A première vue, il ne s'écoulera pas beaucoup d'eau d'un camion standard pendant la période de transport. Cependant, en terme de protection environnementale et civile, même si une faible quantité s'écoule du camion et incommode les voitures qui suivent, ceci pourrait présenter une situation problématique. La seule façon de solutionner ce problème serait alors d'utiliser des contenants étanches, tels qu'ils sont présentement utilisés pour les boues non chaulées. Ceci ajoute nécessairement au coût de transport et limite le nombre de transporteurs ou d'agriculteurs qui pourraient aller chercher eux-mêmes les boues à la station d'épuration.

## 6.7. Discussion sur l'entreposage et le transport

Certaines usines d'épuration, comme c'est le cas de la station de St-Hyacinthe, ont des équipements (filtre presse) pouvant produire des boues déshydratées à 25-27%. Cependant, d'autres usines, suivant le type de boue, d'opération et d'équipements ne peuvent obtenir des boues plus déshydratées que 15-18 ou 20% m.s.t. en situation normale. D'autres usines n'ont pas d'équipements de déshydratation et devront alors faire appel à des unités mobiles telles que nous avons utilisées pour ce projet. Ces situations devraient se présenter dans le futur et il faut examiner les implications des deux extrêmes, soit des boues à 15 et à 25% m.s.t.

L'importance de l'écoulement de lixiviat dépend entre autres du taux de matière sèche initial des boues fraîches et chaulées. En effet, la majorité tend à se drainer à environ 23 à 25% de matière sèche. Tout indique qu'à mesure qu'elles approcheront 30% m.s.t, l'écoulement deviendra minimal et même nul.

Ceci a une importance énorme sur tout l'aspect de la manutention des boues chaulées. Dans le présent projet, les performances du filtre à bande sont passées de 14.7% m.s.t. à 20.2% par la seule addition de la chaux en conditionnement. Si au départ l'équipement pouvait fournir des boues non chaulées à 25% m.s.t., on peut supposer qu'en COND 500 on pourrait atteindre 30 à 35% m.s.t. une fois chaulée en stabilisation et peut-être même davantage si la chaleur dégagée par l'hydratation de la chaux vive évapore une partie supplémentaire d'eau.

Dans une telle situation qui représente celle de l'usine de St-Hyacinthe et suivant les indications obtenues dans ce projet, l'écoulement de drainage de ces boues serait négligeable, sinon nul. En conséquence, l'entreposage au champ ou en usine ne nécessiterait pas de structures de rétention et le lixiviat ne contaminerait pas le sol et les nappes d'eau avoisinantes (sauf sous le tas où la végétation serait brûlée). Le transport serait moins coûteux pouvant être effectué par camion à benne standard et même par l'agriculteur.

Il s'agit donc de la première solution à envisager. Cependant, des vérifications doivent être effectuées à échelle réelle pour s'assurer que l'écoulement est minimal.

L'autre cas concerne les usines où il n'est pas possible d'obtenir des boues avec plus de 15-25% m.s.t. avant chaulage. A cause des quantités potentielles de lixiviat, sortir les boues chaulées pour les entreposer sur des structures étanches au champ n'est pas une solution adéquate à moins qu'il ne s'agisse d'un entreposage local ou régional, puisque les champs seront très disséminés sur le territoire. Il faudra aussi penser à épandre les eaux récoltées dans la structure, ce qui augmente les frais globaux de la valorisation. Compte tenu que le drainage prend environ un mois, une solution à envisager serait de drainer les boues à la station, pendant un ou deux mois et de ramener le lixiviat en tête de station. Ces boues drainées peuvent ensuite être laissées à l'usine jusqu'au moment de l'épandage ou transportées à mesure pour être entreposées au champ avec un minimum d'écoulement. On ne peut dire si le transport par camion standard serait possible sans essais concrets. Il s'agit donc d'un entreposage temporaire à l'usine et tout l'aspect environnemental à l'usine (odeurs, etc..) devra être étudié. Cependant, il s'agirait de la solution la plus appropriée dans ce cas.

Examinons maintenant le problème de la réhydratation et du lessivage par la pluie. En effet, plus le taux de matière sèche des boues sera grand et donc la quantité de chaux, et plus ces boues chaulées absorberont l'eau de pluie et se draineront par la suite pour polluer l'environnement. Moins il y aura de chaux et plus elles se réhydrateront, principalement en conditionnement. Les boues conditionnées auront plus tendance à absorber l'eau de pluie et représentent un problème plus grand. Les boues stabilisées sont assez imperméables et l'eau de pluie aura tendance à ruisseler sur les côtés des tas, plutôt que d'y pénétrer; les risques de pollution sont donc moins

grands. Il faut donc autant que possible diminuer l'infiltration de pluie dans la masse, principalement si la dose de chaux est faible et si le taux de matières sèches est bas.

Une solution est bien sûr de couvrir les tas à l'aide d'une structure protectrice telle un toit de bâtiment si l'entreposage et le drainage se font à l'usine ou dans un centre d'entreposage. Si les eaux sont dirigées en tête de station, on pourrait se passer de cette structure mais l'avantage serait de maintenir un taux de matières sèches élevé et un temps d'essorage minimal. Lorsqu'entreposé en champ, une structure serait coûteuse et non adéquate comme solution. Le peu de pluie qui pourrait tomber entre l'entreposage et l'épandage ne devrait pas être suffisant pour créer des problèmes aigus. Une alternative tant à l'usine qu'au champ serait de couvrir les tas avec un polyéthylène principalement avec les boues conditionnées, mais même ceci n'est peut-être pas nécessaire. Seule la pratique permettra de voir si on doit en venir à cette solution.

Même sans mesure de protection, il peut être suggéré de faire des amoncellements en pointe favorisant le ruissellement sur les côtés du tas plutôt qu'un amoncellement rectangulaire sur lequel l'eau retenue serait forcée de passer au-travers du tas pour être évacuée. Il est intéressant de noter qu'à la Raffinerie de Sucre de Saint-Hilaire, il était suggéré, lors des dernières années, d'empiler les tas de chaux humide (non protégés) de façon à ce qu'ils fassent une pointe plutôt qu'un amas carré, puisque ceci diminuait l'infiltration d'eau à l'intérieur de la masse et assurait ainsi un plus haut taux de matière sèche plus rapidement après la fin des pluies. Il s'agit d'une façon pratique et d'une bonne procédure dans ce cas.

La protection contre le gel n'est pas jugée nécessaire. Le gel-dégel aide à l'égouttement et augmente la quantité d'eau drainée. Cependant, en pratique, ceci n'aura qu'une importance limitée puisque seule une couche d'environ 1.0 mètre devrait geler. L'absorption d'eau et l'égouttement ne seraient améliorés qu'en surface seulement.

Divers facteurs n'ont pas été considérés dans la présente étude et peuvent avoir des conséquences favorables en pratique. Dans le cas d'un amoncellement réel, l'évaporation naturelle est de nature à modifier plusieurs conclusions quant aux risques environnementaux dus aux écoulements et même à l'apparence générale des boues avec le temps. Son influence devra être évaluée en pratique pour déterminer l'envergure de la diminution des problèmes de lixiviat, de réhydratation et d'essorage. Enfin, le drainage a été complet après un mois lors des essais. Un tas réel pouvant prendre plus ou moins de temps à s'égoutter. Lors des essais une pluie de 6 cm a été produite en cinq jours. L'influence d'une pluie et d'une évaporation normale ne peut être suivie qu'avec la pratique en grandeur réelle.

Ainsi, plusieurs problèmes et solutions sont possibles. La meilleure situation serait de permettre un entreposage au champ, d'obtenir des boues avec un taux de matières sèches élevé (à l'usine ou par drainage) et de transporter les boues chaulées par camion standard même par l'agriculteur.

## 6.8. Discussion sur l'apparence et la maniabilité

Tout d'abord, on peut dire que la boue non stabilisée, telle que produite par l'usine, n'apparaît pas très attrayante visuellement étant donné qu'elle est visqueuse, noirâtre et dégage énormément d'odeurs. Entre 15 et 20% m.s.t., son apparence se compare à celle d'un fumier semi-liquide.

Les meilleures boues qui ont été obtenues en terme d'apparence et de maniabilité sont les boues conditionnées et drainées de leur lixiviat. L'attrait visuel est excellent et ne permet aucune comparaison avec des boues d'épuration. Ces boues ont une belle couleur grise et se désagrègent facilement en boulettes (5 à 10 cm) qui ressemblent à des morceaux d'argile. Les tas se maintiennent à un angle de 30 à 40 degrés (tas de fumier = 35°) et la manutention apparaît facile avec un chargeur frontal standard. Les deux doses de 300 et 500 ont des caractéristiques physiques et visuelles similaires et s'apparentent à un fumier solide.

La boue chaulée STAB 300 est déjà mieux qu'une boue non chaulée, sauf que l'apparence s'en approche. Lorsque manipulée, elle est pâteuse et légèrement fluide (beurre mou). L'angle de repos est de 22 degrés et le tas s'écrase comme une masse de béton frais. Malgré tout, un tracteur de ferme devrait être en mesure de les manipuler. Il sera difficile d'en faire un tas solide au champ. La boue STAB 500 est déjà beaucoup mieux. En effet, la boue est plus grisâtre et ressemble à une masse plus dure remplie de papier mâché. La manipulation favorise la formation de gros blocs mous, de 15 à 20 cm (beurre ferme). L'angle de repos est de l'ordre de 35° comme pour les boues condi-

tionnées. Cette boue est plus pâteuse et visqueuse et moins morcelable que les boues conditionnées. Elles sont néanmoins facilement manipulables à l'aide d'une pelle standard.

Ainsi, ces essais montrent que les boues conditionnées ont un attrait visuel de loin supérieur aux boues stabilisées et offrent aussi des caractéristiques de manipulation qui s'avèrent très intéressantes. Même si le tas de la stabilisation 500 est bien formé et que l'apparence du produit est très améliorée, il apparaît que les boues conditionnées offrent des qualités de maintien aussi bonnes et que l'apparence générale n'est plus celle d'une boue, mais bien celle d'un produit plus ou moins granuleux ou morcelé. Aussi, toutes les boues dégageaient beaucoup moins d'odeur que la boue non chaulée.

Il faut noter à ce stade-ci trois points importants avant de conclure définitivement. D'abord la chaux hydratée se carbonate au contact du $CO_2$ de l'atmosphère, causant un durcissement de la masse. Cette influence, apportée par le temps, n'a pas été suivie dans le présent projet, mais peut changer positivement l'apparence des boues, de même que les caractéristiques physiques des boues conditionnées et stabilisées. Ceci pourrait réduire considérablement les écarts observés entre les différentes boues. Ensuite, les conclusions sur l'apparence et la maniabilité pourraient être modifiées si la boue initiale avait eu un taux de matière sèche de l'ordre de 25%. Enfin, l'évolution en gros tas peut être différente de celle observée sur de petits amoncellements.

## 6.9. Manutention à l'épandage

Compte tenu du matériel observé, on peut supposer deux méthodes d'épandage des boues chaulées en agriculture. La première méthode pourrait être un épandage à forfait avec des entrepreneurs spécialisés et des équipements spécialisés, alors que la deuxième méthode, plus pratique et plus près du contexte agricole consisterait à ce que les boues soient livrées chez l'agriculteur et que ce dernier épande lui-même les boues sur ses terrains, au moment le plus opportun.

Il est important d'établir la possibilité que l'épandage puisse être fait par l'agriculteur lui-même avec ses propres équipements. L'annexe G présente une analyse plus élaborée des épandeurs et présente certaines distinctions quant aux possibilités d'épandage à la ferme. La présente section en est un résumé.

Si on considère les boues chaulées comme étant semblables à du fumier solide et semi-solide (pâteux), trois types d'épandeurs pourraient être utilisés facilement pour épandre les boues chaulées dépendant de certaines conditions.

- Les épandeurs conventionnels avec batteurs arrières (avec porte arrière qui limite l'écoulement avec les fumiers pâteux).
- Les épandeurs à fléaux ou à chaînes.
- Les épandeurs en V avec éjection latérale.

La majorité des boues obtenues, (sauf la boue STAB 300), une fois drainées, peuvent être comparées à du fumier solide ou semi-solide en terme de manipulation et d'épanda-

ge. Ainsi, elles devraient être faciles à charger dans un épandeur à fumier et la manutention par un tracteur agricole muni d'un chargeur frontal devrait être assez facile.

Les trois boues ont les caractéristiques pour être manipulées facilement par les épandeurs de ferme conventionnels. Les boues conditionnées, drainées, comme elles semblent se défaire en plusieurs particules, apparaissent encore plus facilement épandables par des épandeurs standards. En ce qui concerne la boue stabilisée 500, on peut présumer que l'épandeur standard sera adéquat, mais que la formation de particules par les batteurs sera différente des autres et plus grossière. La boue STAB 300 étant plus pâteuse, peut nécessiter des équipements ou des composantes plus particulières mais ceux-ci sont disponibles sur le marché.

Il est intéressant de noter à ce point-ci que les amas de chaux de la Raffinerie de Sucre de Saint-Hilaire étaient souvent épandus à l'aide d'épandeurs à fumier standards. Cependant, compte tenu qu'il s'agissait d'un matériel à 70% de m.s. et composé à 90% de chaux, le matériel était jugé très pesant et s'avérait très dur et très abrasif pour les batteurs des épandeurs.

Dans le cas des boues chaulées, le matériel devrait être plus "léger" et causer moins de problèmes de bris d'équipement. D'autre part, plusieurs expériences européennes et américaines montrent que les boues chaulées peuvent être manipulées à l'aide d'un chargeur de ferme et par les épandeurs de ferme standards. Cependant, dans la majorité des cas, il s'agirait alors d'un matériel ayant près de 30 à 35% de m.s.

Le type conventionnel avec batteurs représente la majorité des épandeurs que l'on retrouve sur la ferme et une plus grande attention lui sera portée.

La capacité des épandeurs à épandre la dose désirée est le point le plus important à considérer. En effet, la majorité des épandeurs de ferme sont conçus pour épandre de fortes doses de l'ordre de 40 à 50 t/ha et même plus. Une étude récente montre que ceux-ci peuvent difficilement atteindre de faibles doses de l'ordre de 18 t/ha sans certaines modifications - souvent possibles. Or, les tableaux G-1 et G-2 présentés à l'annexe G, montrent que les doses de boues chaulées à épandre sont limitées par la chaux à environ 25 à 30 t/ha et par 100% des besoins azotés dans l'orge avec 20 à 30 t/ha. Les besoins azotés du maïs demandent des doses normales pour ces épandeurs, soit 50 à 70 t/ha. Si on vise à ne combler que 50% des besoins des tableaux, des doses de l'ordre de 15 et même 10 t/ha seront nécessaires. Moins il y a de chaux dans les boues et plus les doses peuvent être élevées et moins limitatives.

L'épandeur en "V" n'est pas ajustable dans le cas du fumier solide, mais peut épandre de faibles doses avec du fumier pâteux. Avec l'épandeur à fléaux, seule la vitesse d'avancement peut être modifiée et les doses sont moyennes. Pour les épandeurs conventionnels, la vitesse d'épandage peut être modifiée. D'autre part, la quantité du chargement peut être réduite pour épandre moins sur une même longueur, mais ceci diminue l'efficacité de travail d'autant et augmente les coûts. Enfin, la vitesse de vidange de l'épandeur lui-même peut être modifiée en changeant certains engrenages; certains étant disponibles sur le marché, d'autres devant être fabriqués. Ainsi, la majo-

rité des épandeurs conventionnels sur les fermes pourraient épandre de très faibles doses de l'ordre de 30 tonnes/ha normalement et de l'ordre de 15 à 20 t/ha suivant certaines modifications et méthodologie d'épandage.

Il existe sur le marché canadien des épandeurs conventionnels plus spécialisés en mesure d'épandre ces très faibles doses (à action hydraulique). D'autre part, les manufacturiers européens ont développé des épandeurs pouvant épandre des boues d'épuration en très faibles doses (4 t/ha), tout en améliorant l'uniformité au sol. De tels épandeurs pourraient être importés, si besoin il y a. Ces épandeurs à faibles doses seraient particulièrement utiles si des quantités normales de phosphore limitaient les doses à épandre à environ 8 t/ha. Cependant, dans le présent projet, le phosphore n'était jamais limitatif. Aussi, normalement, il le serait moins si l'on considère son apport basé sur cinq ans.

La problématique reliée à l'épandage des boues sera la même que pour les fumiers, soit l'uniformité d'épandage au sol et la grosseur des agrégats (qualité de l'épandage). D'autre part, plus les doses seront faibles et plus l'épandage et l'uniformité d'épandage longitudinal et transversal risquent d'être irréguliers (arrivage par paquets sur les batteurs et sur le sol, etc...). Certains modèles d'épandeur sont conçus avec des couteux déchiqueteurs qui aident à diminuer la grosseur des particules et favorisent une meilleure uniformité d'épandage par rapport aux batteurs de type américain. Des recherches sur les meilleurs types d'épandeur seraient éventuellement utiles pour améliorer l'uniformité générale et la grosseur des particules au sol et ainsi répartir plus adéquatement les différents éléments des boues chaulées.

D'autre part, les présents calculs ont tenu compte d'une densité des boues de 1 $t/m^3$ telle qu'obtenue dans le projet. Plus le taux de matières sèches sera élevé, moins la densité sera grande (750 $kg/m^3$), de sorte que l'épandage étant basé sur la masse, la boue chaulée peut être plus facile à épandre que prévue avec de faibles doses et un taux de matières sèches élevé.

Enfin, une incertitude reste à vérifier. Compte tenu du taux de chaux, la résistance appliquée sur les batteurs et les qualités abrasives de la chaux peuvent diminuer la durabilité des équipements. Ceci reste à être vérifié dans la pratique.

En résumé, la majorité des doses normales à appliquer selon divers scénarios visant à combler les besoins totaux en chaux et en azote des cultures (25 à 85 t/ha) peuvent être appliquées facilement par la plupart des agriculteurs avec les équipements déjà disponibles sur leurs fermes et sur le marché. Pour des dosages plus faibles que 20 à 25 t/ha, - qui représentent des apports plus fractionnés, des taux de matières sèches moins élevés ou des quantités de phosphore élevées dans les boues, - l'agriculteur peut devoir modifier certaines composantes (dont certaines disponibles sur le marché) de même que sa méthodologie d'épandage. Certains équipements plus spécifiques canadiens et/ou européens seront nécessaires à de très faibles doses, de sorte que des entreprises indépendantes apparaissent plus appropriées pour combler ce besoin. L'achat d'épandeurs spéciaux par la station ou par groupe d'agriculteurs est une alternative. Enfin, l'uniformité au sol sera le prochain point à améliorer.

# 7. CONSIDERATIONS ECONOMIQUES

## 7.1. Valeur économique liée au contenu des boues en fertilisant et amendement calcaire

Il est possible d'attribuer une valeur économique aux boues en se basant sur leur contenu en azote, phosphore, potassium et équivalent $CaCO_3$. Ces chiffres sont présentés au tableau 7.1.

On peut voir que le prix varie entre 24 et 29$/t.m.s. Les boues à 300 kg CaO/t.m.s. ont une valeur plus élevée en fertilisant par rapport aux boues à 500 kg CaO/t.m.s., alors que les boues plus riches en chaux ont une valeur moins élevée en azote, phosphore et potassium mais plus élevée en $CaCO_3$.

Les prix retenus pour cette évaluation sont les suivants:

| | | |
|---|---|---|
| N | = | $ 0.68/kg |
| $P_2O_5$ | = | $ 0.68/kg |
| $K_2O$ | = | $ 0.40/kg |
| $CaCO_3$ | = | $38.40/tonne de $CaCO_3$ (IVA = 100) |

Les boues d'épuration contiennent normalement environ 32 kg de $P_2O_5$/t.m.s., ce qui signifie que la valeur en phosphore des boues pourrait très bien se situer au-dessus de $20.00 alors que nos résultats d'analyse ne justifient qu'une valeur inférieure à $1.00.

TABLEAU 7.1: VALEUR MONETAIRE PAR TONNE DE MATIERE SECHE ET PAR TONNE DE BOUE (TAUX DE MATIERE SECHE REEL); VALEUR EN N, P205, K20 ET CaCO3 LA PREMIERE ANNEE.

| Type de boues | MST | $ / tonne de matière sèche | | | | | $ / tonne de boue | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (%) | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ | $CaCO_3$* | TOTAL | $CaCO_3$ | TOTAL |
| BLNC | 3.27 | 15.61 | 0.68 | 2.36 | 0 | 18.65 | 0 | 0.61 |
| BDNC | 14.70 | 14.41 | 0.80 | 2.52 | 0 | 17.73 | 0 | 2.61 |
| COND 300 | 16.90 | 7.80 | 0.40 | 2.40 | 14.52 | 25.12 | 2.45 | 4.24 |
| COND 500 | 20.90 | 6.92 | 0.35 | 0.96 | 20.26 | 28.49 | 4.23 | 5.95 |
| STAB 300 | 19.20 | 8.12 | 0.29 | 1.80 | 14.22 | 24.43 | 2.73 | 4.70 |
| STAB 500 | 24.60 | 6.78 | 0.67 | 1.60 | 19.70 | 28.75 | 4.85 | 7.07 |

* Valeur calculée d'après la quantité de chaux ajoutée aux boues.

Pour bien comprendre ce que ces chiffres signifient, on peut évaluer les coût épargnés à l'hectare selon deux utilisations possibles. Les deux scénarios retenus visent à combler les besoins pour un des éléments ($CaCO_3$ dans le cas du maïs et N dans le cas de l'orge) sans surdoser les autres apports.

Si on utilise les boues chaulées sur un sol affecté à la culture du maïs en se basant sur les besoins en chaux, c'est-à-dire 4 tonnes de $CaCO_3$ (IVA = 100) à l'hectare, on comble donc 100% des besoins du sol en chaux et un pourcentage variable des besoins en N, $P_2O_5$ et $K_2O$ du maïs (voir tableau 6.14), sans combler ceux-ci complètement.

Le tableau 7.2 donne la valeur des fertilisants et amendements calcaires apportés ainsi par les boues pour un hectare de maïs. L'agriculteur qui doit acheter la chaux et les fertilisants dans le commerce débourse dans ces condi-

tions $370.84. En utilisant des boues d'épuration chaulées, il obtient toute la chaux nécessaire et en admettant qu'il ne débourse que pour la part des besoins en fertilisants non comblée par les boues, il peut théoriquement épargner entre 60 et 70% des coûts liés aux achats de fertilisants et de chaux lors de l'année d'application. L'épargne est de 60% dans le cas d'une boue à 500 kg de CaO/t.m.s. alors qu'elle est de 71% dans le cas d'une boue à 300 kg de CaO/t.m.s..

Si on ramène cette économie sur une base annuelle, cela peut représenter entre 17 et 22% des coûts en fertilisants et amendements calcaires; et ce, même avec une boue contenant très peu de phosphore et sans compter les éléments mineurs présents.

TABLEAU 7.2: VALEUR DES FERTILISANTS ET AMENDEMENTS CALCAIRES APPORTES PAR LES BOUES: DOSE D'EPANDAGE BASEE SUR UN APPORT A TOUS LES CINQ ANS COUVRANT 100% DES BESOINS EN $CaCO_3$ AVEC CULTURE DE MAIS ($/ha)

| | Q.boues (tms/ha) | $CaCO_3$ | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Achat total * | ----- | $ 153.44 | $ 112.20 | $ 61.20 | $ 44.00 | $ 370.84 |
| COND 300 | 10.57 | $ 153.44 | $ 82.35 | $ 4.28 | $ 25.39 | $ 265.46 |
| COND 500 | 7.57 | $ 153.44 | $ 52.40 | $ 2.63 | $ 7.26 | $ 215.73 |
| STAB 300 | 10.79 | $ 153.44 | $ 87.63 | $ 3.18 | $ 19.40 | $ 263.65 |
| STAB 500 | 7.79 | $ 153.44 | $ 52.85 | $ 5.20 | $ 12.45 | $ 223.94 |

* : En couvrant 100 % des besoins en fertilisants et en chaux achetés dans le commerce.

**Pourcentage des coûts épargnés à l'hectare**

| | L'année d'application | | | Economie annuelle * | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fert.+Chaux | Fert. seul. | Chaux seul. | Fert.+Chaux | Fert. seul. | Chaux seul. |
| COND 300 | 71.6 % | 41.4 % | 30.2 % | 21.40 % | 9.0 % | 12.4 % |
| COND 500 | 58.2 % | 41.4 % | 16.8 % | 17.40 % | 5.0 % | 12.4 % |
| STAB 300 | 71.1 % | 41.4 % | 29.7 % | 21.25 % | 8.9 % | 12.4 % |
| STAB 500 | 60.4 % | 41.4 % | 19.0 % | 18.05 % | 5.7 % | 12.4 % |

*: Economie globale ramenée sur une base annuelle.

---

On peut aussi utiliser les boues chaulées sur un sol affecté à la culture de l'orge, en se basant cette fois sur l'azote pour établir les doses d'épandage. On amènera ainsi 70 kg de N disponible/ha avec les boues et un pourcentage variable des besoins en $CaCO_3$, $P_2O_5$, et $K_2O$ (voir tableau 6.13).

Au tableau 7.3 se trouvent les coûts épargnés en $CaCO_3$, N, $P_2O_5$ et $K_2O$ de cette façon. Le coût total à l'hectare en fertilisants et chaux est de 257.04$ et les sommes épargnées vont de 143 à 201$.

L'économie globale ainsi réalisée atteint 55 à 60% dans le cas de la dose à 300 kg CaO/t.m.s. et 75 à 80% dans le cas de la dose à 500 kg CaO/t.m.s.

Sur une base annuelle cela représente une économie de 20 à 30%. Les colonnes "chaux seul" et "fert. seul", représentent la part de ces économies attribuables à chacun de ces intrants respectivement.

TABLEAU 7.3: VALEUR DES FERTILISANTS ET AMENDEMENTS CALCAIRES APPORTES PAR LES BOUES: DOSE D'EPANDAGE BASEE SUR UN APPORT A TOUS LES CINQ ANS COUVRANT 100% DES BESOINS EN AZOTE AVEC CULTURE D'ORGE ($/ha)

| | Q.boues | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ | $CaCO_3$ | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Achat total * | ----- | $ 47.60 | $ 34.00 | $ 22.00 | $ 153.44 | $ 257.04 |
| COND 300 | 6.10 | $ 47.60 | $ 2.48 | $ 14.63 | $ 88.53 | $ 153.24 |
| COND 500 | 6.88 | $ 47.60 | $ 2.41 | $ 6.60 | $ 139.48 | $ 196.09 |
| STAB 300 | 5.86 | $ 47.60 | $ 1.73 | $ 10.54 | $ 83.32 | $ 143.19 |
| STAB 500 | 7.02 | $ 47.60 | $ 4.66 | $ 11.22 | $ 138.25 | $ 201.73 |

* : En couvrant 100 % des besoins en fertilisants et en chaux achetés dans le commerce.

**Pourcentage des coûts épargnés à l'hectare**

| | L'année d'application | | | Economie annuelle * | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fert.+Chaux | Chaux seul. | Fert. seul. | Fert.+Chaux | Chaux seul. | Fert. seul. |
| COND 300 | 59.6 % | 34.4 % | 25.2 % | 22.8 % | 13.2 % | 9.6 % |
| COND 500 | 76.3 % | 54.3 % | 22.0 % | 29.2 % | 20.8 % | 8.4 % |
| STAB 300 | 55.7 % | 32.4 % | 23.3 % | 21.3 % | 12.4 % | 8.9 % |
| STAB 500 | 78.5 % | 53.8 % | 24.7 % | 30.0 % | 20.6 % | 9.4 % |

*: Economie globale ramenée sur une base annuelle.

A titre indicatif, examinons l'économie réalisée avec les mêmes boues contenant cependant 32 kg de phosphore disponible par tonne de matière sèche dans les boues non chaulées. Si on tient compte de l'effet de dilution lors de l'ajout de chaux, cela représente environ 23 kg de $P_2O_5$/t.m.s. dans les boues à 300 kg CaO/t.m.s. et 19 kg de P205/t.m.s. dans les boues à 500 kg CaO/t.m.s. Avec de telles teneurs en phosphore, on constate que les besoins sont très largement comblés. On amènerait ainsi

dans le cas du maïs cité plus haut 1.6 fois (dose 500) et 2.7 fois (dose 300) la dose de fertilisation (90 kg $P_2O_5$/ha) recommandée. On aurait alors une économie correspondant au coût total en phosphore soit 61.20$/ha.

L'économie globale alors réalisée l'année d'application serait de 75% (dose 500) et 87% (dose 300) pour un épandage à tous les 5 ans.

Le même calcul effectué avec le scénario "orge 100% N" indique que les besoins en phosphore seront là aussi largement comblés (1.35 fois la norme). L'économie sera alors de 70% (dose 300) et de 89% (dose 500) des coûts concernant l'année d'application.

Ces quelques exemples démontrent bien que la valorisation agricole des boues d'épuration, chaulées ou non, est une question de bon sens et que la mise en décharge ou l'incinération d'un tel produit est une aberration économique autant qu'environnementale.

## 7.2. Implication économique concernant la manutention des boues chaulées en agriculture

L'analyse des coûts tient compte d'une situation d'opération, une fois qu'une méthodologie d'épandage est mise en place. Il ne s'agit pas des coûts extraordinaires de démarrage de cette méthodologie. D'autre part, seuls les coûts reliés à la valorisation agricole (coûts d'élimination des boues) sont considérés; le présent projet n'a pas étudié les coûts d'opération (main-d'oeuvre, réparations, financement, gestion, etc..) et les impacts de cette technique à l'intérieur de l'usine. Les coûts mention-

nés visent aussi une situation où l'épandage est effectué par les agriculteurs ou des entreprises spécialisées dans ce domaine, et non pas par des intervenants de type industriel. Les pages qui suivent sont basées sur ces considérations et tiennent compte des coûts actuels et non pas des probabilités futures. Enfin, les coûts de structures d'entreposage et de protection, s'ils étaient nécessaires, tant à l'usine qu'en agriculture, n'ont pas été considérés dans les présents coûts.

Des changements aux situations suggérées, l'ajout des coûts de modifications à l'usine et la mise en place de la pratique auront pour conséquences de modifier considérablement les données de la présente étude économique. Aussi, divers coûts peuvent varier selon les situations particulières à chaque usine et avec le temps. Ainsi, les pages qui suivent donnent un aperçu global des coûts d'élimination vers l'agriculture.

Afin d'étudier les coûts de manutention de façon globale, certaines références littéraires et certaines personnes ont été contactées pour obtenir des indicateurs probables et réalistes. Le tableau 7.4 montre les coûts d'épandage associés au fumier d'animaux. Le coût d'utilisation est le coût que doit supporter l'agriculteur pour sa machinerie et sa main-d'oeuvre. Les coûts à forfait sont ceux établis ou utilisés par des entrepreneurs spécialisés dans le domaine agricole. Il s'agit essentiellement d'une revue de deux références en agriculture. La moyenne probable de la dernière colonne est légèrement subjective. Le détail des coûts à forfait (dernière série) montre que le coût de $2.10/tonne, est plus bas que le coût d'utilisation à cause de l'économie d'échelle et l'efficacité de travail supérieure. Les champs doivent être proches des amas de fumier.

Le tableau 7.5 montre la comparaison de divers prix actuels concernant la manutention de la chaux agricole, de la chaux de la raffinerie de sucre de St-Hilaire (deux dernières années d'opération) et des boues à la station d'épuration. Ce tableau vise à donner un ordre de grandeur de diverses situations, représentant plus des opérations commerciales que des opérations agricoles. Ces données seront utiles pour comparer les divers coûts impliqués dans la valorisation agricole des boues.

Le tableau 7.6 fait un peu le résumé des deux tableaux précédents afin d'établir un coût probable qui sera associé à diverses situations. Dans la première situation (épandage par l'agriculteur), le prix entre parenthèses représente les frais variables associés à l'utilisation de la machinerie, en tenant compte que l'agriculteur ne met aucun montant pour l'achat ou l'usure de la machinerie et la main-d'oeuvre, étant donné qu'il l'a déjà en sa possession. Le deuxième coût (totalement à contrat) donne un montant probable égal au premier soit 8.50$/t. En pratique, il pourrait être légèrement inférieur s'il n'y a pas de reprise à la ferme.

Le troisième coût concerne les coûts actuels impliqués à l'usine en vue de l'élimination au site d'enfouissement. Plusieurs des coûts impliqués à l'usine ne sont pas indiqués sur cette feuille, telle la location du container de déchets, l'usage de polymère, etc. Seuls les coûts de transport et d'élimination ont été considérés. Actuellement, à Saint-Hyacinthe, le coût de transport se situe en bas du prix mentionné, mais il s'agit d'une soumission assez exceptionnelle par rapport aux écarts énumérés au tableau 7.6. D'autre part, les prix actuels demandés par le site d'enfouissement sont de $8.50, alors qu'ils sont de $12.75 à un autre site d'enfouissement. De nombreux pro-

blèmes existent quant à l'élimination aux sites d'enfouissement. On nous a indiqué que les prix pourraient être majorés dans un très proche avenir pour atteindre le double de ceux qui sont effectivement appliqués aujourd'hui, soit $18.00/t enfouie. Ceci est un exemple des variations qui peuvent avoir lieu lors de l'établissement des coûts dans les conditions actuelles. Ainsi, le coût actuel au site d'enfouissement est de l'ordre de $15.00 mais pourrait facilement augmenter à $20.00 ou $23.00/tonne dans un proche avenir et les coûts de disposition en agriculture peuvent baisser à cause des volumes de la pratique ainsi que d'autres considérations.

A première vue, si on considère les chiffres du tableau 7.6 comme étant les plus probables, on s'aperçoit que la valorisation agricole, lorsque l'on considère seulement les coûts de transport à la ferme, de reprise et d'épandage au champ, sont près de la moitié de ce qu'il en coûte pour faire l'élimination au site d'enfouissement. D'autre part, dans les cas où l'agriculteur serait prêt à épandre lui-même le produit et qu'il ne considère pas le coût d'utilisation de sa machinerie, ni son temps personnel à l'épandage, le coût ainsi associé à la valorisation agricole des boues chaulées représente environ le tiers de ce qu'il en coûte pour la disposition au site d'enfouissement.

TABLEAU 7.4: COUT D'UTILISATION DES EQUIPEMENTS A LA FERME ET COUT A FORFAI
POUR L'EPANDAGE DE FUMIER D'ANIMAUX

| | Faible utilisation de l'équipement $ / t | Forte utilisation de l'équipement $ / t | Moyenne problable $ / t |
|---|---|---|---|
| Coût d'utilisation (1) opération complète (fumier liquide) | | | |
| Truie | 7.98 | 3.11 | 4.55 |
| Porc | 3.74 | 3.00 | 3.50 |
| A forfait | 4.13 | 3.15 | 3.85 |
| Coût d'utilisation (2) (fumier solide) | | | |
| Chargement | 2.03(0.22) | 1.35(0.22) | 2.03 |
| Epandage | 2.07(0.20) | 2.03(0.20) | 2.07 |
| Opération complète | 4.10(0.42) | 3.38(0.42) | 4.10 |
| Coût a forfait (2) (fumier solide) | | | |
| Chargement | - | 1.05 | 1.05 |
| Epandage | - | 1.05 | 1.05 |
| Opération complète | - | 2.10 | 2.10 |

(1) Référence #6 indexée de 40%
(2) Référence #7 indexée de 5%
(Les parenthèses indiquent les frais variables)

TABLEAU 7.5: COMPARAISON DES PRIX ACTUELS DE MANUTENTION DES BOUES ET DE CHAUX SELON DIVERSES SOURCES

| | Chaux Raffinerie normalement ($/t) | Raffinerie Prix actuel à un acheteur ($/t) | Vendeur de chaux ($/t) | Boues à la station ($/t) | Autres Sources ($/t) |
|---|---|---|---|---|---|
| Prix de la chaux uniquement | 7.00 | 2.50 | 13.50 | | |
| Prix total incluant épandage | | | 22-23 | | 26 a 28 |
| Transport & chargement à l'usine | | 4.00 | | 3.45 a 6.90 (1) | |
| Transport seulement | 3.00 a 6.00 | | | | 4.00 a 6.40 (25 à 50 km) |
| Reprise à la ferme | | | 0.50(1.00) (2) | | |
| Epandage à la ferme | | | 2.75 a 4.00 | | |
| Reprise et épandage à la ferme | 3.50 (7t/ha) | 3.50 a 4.00 (5t/ha) | | | |
| Coût au site d'enfouissement ($/t) | Ste-Cécile de Milton | | | 8.50 | |
| | St-Valérien | | | 12.75 | |
| | Possibilités pour l'an prochain | | | 18.00 | |

(1) Le prix normal serait de $125 / 18t, la citerne n'étant remplie qu'à 50%. Le prix le plus bas tient compte d'une citerne pleine.

(2) Le prix entre parenthèses est pour un chargeur loué, alors que l'autre prix est pour un chargeur personnel.

TABLEAU 7.6: ETABLISSEMENT DES COUTS PROBLABLES POUR FINS DE COMPARAISONS

| | Coût de disposition en agriculture - transport à contrat - épandage par agriculteur - ($ / t) | | Coût de disposition en agriculture - totalement à contrat - ($ / t) | | Coût de disposition au site d'enfouissement - ($ / t) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ecart probable | Coût probable | Ecart probable | Coût probable | Ecart probable | Coût probable |
| Chargement à l'usine (1) et transport (20 a 50 Km) | 4.00 a 7.00 | 5.00 | 4.00 a 7.00 | 5.00 | 5.00 a 7.00 | 6.50 |
| Reprise et épandage à la ferme | 2.70 a 4.10 | 3.50 (0.42 f.v.) | 2.10 a 4.50 | 3.50 | ---------- | ---- |
| Coût au site d'enfouissement | ---------- | --------- | ---------- | ---- | 8.50 à 12.75 | 8.50 |
| Total | 6.70 a 11.10 | 8.50 (5.42) | 6.10 a 11.50 | 8.50 | 13.50 a 19.75 | 15.00 |

f.v. = Frais variables, ne comprend pas la main-d'oeuvre

(1) Temps d'attente nul; pas de caisson en location

## 7.3. Coûts à l'usine

L'implication des différentes techniques pour l'usine n'est pas l'objet de la présente étude, mais il faut que le lecteur connaisse et comprenne certains points et certains coûts qui sont considérés dans ce rapport. En effet, la station aura éventuellement le choix d'utiliser la technique de chaulage en conditionnement ou en stabilisation. Les coûts impliqués s'avèreront très différents, de même que les avantages qui en seront retirés.

En conditionnement, la technologie nécessitera diverses structures et équipements d'entreposage, de préparation et de mélange de la chaux. Cette technique pourrait aussi impliquer des changements au niveau des équipements de déshydratation, s'ils ne sont pas compatibles avec l'utilisation de la chaux à long terme. Ces coûts et modifications n'ont pas été considérés dans ce rapport.

En conditionnement, il n'y a pas eu de balance de masse dans le présent projet. Cependant, si on considère qu'il n'y a ni gain ni perte de matières sèches lors de la déshydratation, causé par l'ajout de la chaux, logiquement on pourrait supposer que la quantité de boue à épandre sera augmentée d'une quantité correspondant à la chaux ajoutée.

Dans ce cas, les calculs montrent que l'augmentation de la masse serait de 6% et 10% par l'ajout de 300 et 500 kg de chaux et la siccité augmenterait de 33 et 52%. On s'aperçoit qu'en pratique la siccité est augmentée de 15% et 37%. Ainsi, la chaux peut se mouiller et augmenter la quantité à transporter ou une partie de la chaux peut être perdue par le filtre à bande, ce qui n'a pas été vérifié. On ne peut donc connaître avec exactitude quelle serait la masse supplémentaire à manipuler, en conditionnement.

L'utilisation de la technique du conditionnement pourrait amener une réduction de la quantité de polymère utilisée. Le présent projet donne une indication de réduction jusqu'à 37% (voir annexe D), mais il s'agit d'une usine utilisant déjà beaucoup de polymères. Cet avantage, non chiffré, peut représenter quelques dollars par tonne et diminuer les coûts associés à l'achat de la chaux en conditionnement (tableau 7.7) et rendre le coût équivalent à celui de la stabilisation.

La méthodologie visant la stabilisation après la déshydratation n'implique aucun changement lors de la déshydratation, mais exige des équipements pour obtenir un mélange homogène boue déshydratée-chaux. La stabilisation des boues peut être faite de différentes manières, partant du mélange à l'aide d'une pelle chargeur jusqu'à des équipements sophistiqués de mélange de boues et de chaux. Tous ces coûts peuvent varier grandement suivant les besoins.

En stabilisation, la chaux n'apportera aucune réduction des polymères utilisés, mais on voit par le tableau 7.7 que la chaux vive commande généralement un coût plus bas et un degré de pureté plus élevé que la chaux hydratée.

Les autres éléments de variation pouvant influencer l'étude des coûts concernent le volume et le taux de matière sèche des boues initiales et finales. Les calculs du présent projet ont été basés sur ce qui a été obtenu à partir des équipements de déshydratation loués. Il a été mentionné précédemment que, selon les usines, ces résultats pourraient grandement varier et influencer l'aspect complet des coûts reliés à la manutention.

Un tel exemple peut être calculé pour la stabilisation étant donné que contrairement au conditionnement, on connaît plus précisément la balance de masse impliquée. Le tableau 7.8 montre les effets du chaulage sur les coûts, le volume et la siccité, par la méthode de chaulage en stabilisation. Etant donné que l'usine de St-Hyacinthe peut actuellement produire des boues à 25% de siccité, le calcul des coûts et des volumes impliqués risque d'être très différent des résultats que nous avons obtenus. Tous les calculs ont été basés sur les résultats du présent projet, mais ils doivent aussi être analysés en fonction de toutes les usines pouvant utiliser cette technique.

Aussi, on ne considère pas le volume perdu par drainage et les pertes de valeur fertilisante en découlant, même si le taux de siccité peut être très bas. Le volume drainé peut réduire les masses à transporter s'il est fait en usine, mais il doit être inclu s'il est transporté à la ferme. Aussi, la perte d'azote par le drainage, s'il y a lieu, peut permettre parfois d'épandre plus de boue par

hectare. Dans les présents calculs, on considère le drainage et ses fertilisants inclus dans les volumes globaux. Le lecteur devra donc faire ses propres substitutions pour déterminer les coûts réels qui pourraient être économisés selon sa situation.

D'autres coûts, indépendants de la méthode de chaulage, pourraient être reliés à: un entreposage intérieur, une structure de protection contre la pluie, des éléments de drainage si des écoulements sont encore remarqués, un chargeur si les boues ne sont pas entreposées directement dans les containers. Une analyse complète des coûts devrait être faite et tenir compte de tous ces aspects, selon la méthode de chaulage retenue et le taux de siccité final.

TABLEAU 7.7: QUELQUES COUTS IMPLIQUES A L'USINE POUR LE CHAULAGE DES BOUES

| | Chaux hydratée | Chaux vive |
|---|---|---|
| Coût pour l'achat de la chaux ($ / t) | 108.00 | 100.00 |
| % CaO équivalent | 73 | 90 |
| Coût ($ / t.m.s. à traiter) | | |
| Cond 300 | 44.40 | - |
| Cond 500 | 73.97 | - |
| Stab 300 | - | 33.30 |
| Stab 500 | - | 55.55 |

TABLEAU 7.8: EFFETS DU CHAULAGE EN STABILISATION SUR LES COUTS, LE VOLUME ET LA SICCITE SELON DEUX TAUX DE M.S.T. INITIAL

| DOSAGE | MST initial (%) | MST final (%) * | Masse finale sur initial (sans drainage) * | Coût d'achat de la chaux par tonne initiale ($/t) base humide | base sec |
|---|---|---|---|---|---|
| Stab 300 | 14.7 | 20 | 1.05 | 4.90 | 33.30 |
| Stab 500 | 14.7 | 23 | 1.08 | 8.17 | 55.50 |
| Stab 300 | 25.0 | 33 | 1.08 | 8.30 | 33.30 |
| Stab 500 | 25.0 | 38 | 1.14 | 13.90 | 55.50 |

*: calculés

## 7.4. Synthèse économique générale

L'étude des coûts de la valorisation agricole des boues, (sans tenir compte des coûts d'infrastructure impliqués à l'usine) doit considérer plusieurs aspects encore incertains. Ainsi, plusieurs questions peuvent être posées:

- l'usine supportera-t-elle totalement les coûts de la disposition des boues en agriculture?

- l'agriculteur pourra-t-il aller chercher les boues lui-même directement à l'usine?,

- à quel coût l'agriculteur considère-t-il son temps et l'utilisation de sa machinerie pour épandre les boues chaulées?

- permettra-t-on à l'agriculteur de gérer ses épandages de boues?

- est-ce que l'agriculteur est prêt à défrayer une partie des coûts si l'usine paie le travail au complet?

- est-il prêt à payer un coût supplémentaire en plus d'épandre lui-même les boues sur son terrain au moment où il le désire?

- - l'agriculteur considérera-t-il la valeur fertilisante des boues ou seulement la valeur en amendement calcaire.

Toutes ces questions impliquent des scénarios de partage des coûts bien différents et dépassent l'aspect économique pour impliquer aussi l'aspect psychologique ou social

relié à la valorisation agricole des boues. Avant de choisir les coûts pouvant être supportés par chaque intervenant, il faudra étudier dans une étude subséquente divers scénarios impliquant chacun leur méthodologie, leurs avantages et inconvénients. L'étude des coûts doit aussi faire une comparaison sur une base d'hectare, tout en faisant intervenir les notions de masse et de siccité, puisque ceci diminue ou augmente les besoins en sols agricoles pour l'usine. D'autre part, les contenus en azote et en fertilisants divers peuvent grandement faire varier les économies réalisées. Quelques-uns de ces points sont analysés ci-après.

Tout d'abord, la littérature nous informe que pour recevoir des boues, un sol doit être ajusté à un pH de 6.0 et préférablement de 6.5. Le tableau 6.14 nous a montré que la chaux en dose de 500 kg comble totalement ces besoins d'augmentation de pH sans tellement surdoser l'azote dans l'orge. Avec les doses de 300 kg, (tableau 6.13) on peut combler la moitié des besoins en chaux pour l'orge et 100% des besoins en chaux pour le maïs sans surdoser les apports d'azote.

Ensuite, la section 7.1 nous montre que la chaux en dose de 500 kg représente environ 40% de toute la matière sèche épandue et qu'elle correspond à 70% de la valeur monétaire de la boue. En dose de 300 kg, la chaux équivaut à 30% de la m.s.t. et 58% de la valeur monétaire. En comparaison, l'azote représente 24 et 31% de la valeur monétaire. Ces données sont bonnes tant pour les boues conditionnées que stabilisées. Par conséquent, la boue chaulée doit être considérée, dosée et évaluée, d'abord et avant tout, sur la base de sa valeur en amendement calcaire, même si les autres éléments fertilisants sont non négligea-

bles. Enfin, on a vu que la boue chaulée peut permettre une économie monétaire de chaux et de fertilisants de 60 à 80% l'année d'application, soit 20 à 30% par an, basé sur cinq ans.

La notion de siccité influencera principalement les coûts de transport globaux de l'usine. En terme de nombre d'hectares nécessaires elle n'aura pas d'influence. Cependant, la quantité de chaux et d'azote influencera le nombre d'hectares de sols nécessaires. La dose de chaux augmente la masse à transporter, mais aussi la superficie nécessaire. Là où l'azote n'est pas restrictive (maïs) une masse de 1500 t.m.s., initialement non chaulée, nécessitera 150 et 219 ha avec les doses à 300 et 500 kg de chaux. On a vu que le contenu en azote diminuait avec la dose de chaux à cause de la volatilisation et de la dilution. Là où l'azote est limitatif (orge), les besoins en superficie seront de 277 et 243 ha, avec des boues stabilisées à 300 et 500 kg. (1500 t.m.s. initialement). En résumé, plus il y a de chaux, plus cette dernière requiert de terrains et moins l'azote nécessite de superficie. Il y a donc lieu de choisir pour la station, la dose et la culture qui limiteront ses recherches de superficie, de façon à faciliter la gestion. Le maïs apparaît une plante très appropriée. Ces besoins en sols ne sont que pour une année. Il faut donc quintupler ces superficies et celles-ci doivent nécessiter un besoin en chaux. La boue conditionnée garde très légèrement plus d'azote et de chaux que les boues stabilisées mais pas assez pour changer de façon importante la quantité d'hectares, sauf que la siccité en conditionnement devrait être moins élevé et les masses plus grandes.

On a vu aussi à la section 7.2, que les coûts reliés à la manipulation des boues chaulées pour la valorisation agricole (basé sur une même masse) permet une économie de $6.50/t soit 43% d'économie par rapport à l'enfouissement sanitaire. Si l'agriculture prend à sa charge les coûts d'épandage, soit 3.50$/t., l'économie globale représente alors 66% du coût qu'implique l'enfouissement sanitaire.

L'économie que représente la manutention des boues en milieu agricole comparée à ce qu'elle serait au site d'enfouissement est mieux visualisée au tableau 7.9. En fait, la différence est due aux masses supplémentaires qu'il faut manipuler à cause de la chaux. Ainsi, l'économie maximale est atteinte lorsque la même quantité de boue est manipulée (multiplicateur zéro) et que les prix comparatifs sont appliqués.

L'économie paraît moins élevée lorsque la siccité est élevée parce que l'apport de la chaux sur le total a une influence plus grande. Cependant, il est préférable de manipuler une boue à siccité élevée parce que la masse globale est beaucoup moindre. Le tableau 7.9 ne montre pas les boues conditionnées parce qu'on ne connaît pas l'augmentation exacte des masses à manipuler. Par les essais antérieurs on peut supposer qu'elles seraient plus grandes et auraient une siccité moins élevée que les boues stabilisées. Enfin, n'oublions pas que la siccité diminue la masse totale jusqu'à un point où le volume lui-même ne changera plus et deviendra limitatif en terme de manipulation.

Les coûts présentés au tableau 7.9 ne tiennent pas compte du prix d'achat de la chaux pour l'usine mais seulement de la manipulation et de l'enfouissement des boues.

Avec toutes les variations possibles, il est difficle d'obtenir une base de comparaison pouvant répondre à toutes les questions à l'intérieur d'une revue économique succinte.

Cependant, pour obtenir une vue d'ensemble, le tableau 7.6 fait l'état d'un bilan économique global sur la valorisation agricole des boues, sans tenir compte du partage des coûts entre l'usine et l'agriculteur. Ces coûts incluent donc le coût de la chaux pour l'usine et les bénéfices agricoles des boues, mais pas les coûts de modifications et d'opération à la station.

L'analyse du détail des coûts nous montre qu'en ajoutant le coût de la chaux pour la station, le coût de disposition en agriculture est légèrement supérieur à l'élimination au site d'enfouissement. Cependant, ceci ne tient pas compte des augmentations possibles des coûts d'enfouissement sanitaires. Une faible augmentation de ceux-ci rendrait aussi, sinon plus, avantageux de valoriser les boues en agriculture.

L'étude du détail des économies montre que la valorisation agricole apporte une valeur en amendement calcaire et en fertilisant alors que l'enfouissement sanitaire n'apporte aucune économie visible. On note que le coût de la valorisation est beaucoup plus avantageux que l'enfouissement en tenant compte de ces économies. On note aussi que le gain en amendement calcaire agricole est moindre que le coût de la chaux pour l'usine. Ceci est dû au fait que la chaux vive ou hydratée est beaucoup plus dispendieuse que la pierre à chaux agricole, et donc que le coût de la chaux acheté par l'usine n'est pas transféré totalement en agriculture.

Les masses considirées dans ce tableau ne sont pas toutes comparables à cause des volumes de chaux. Les deux dernières lignes ramènent la comparaison au site d'enfouissement en diminuant la partie apportée par la chaux.

De cette façon, le gain net de la valorisation est de 5.80$ et 3.60$/t de boue chaulée à 30% m.s.t. pour les deux dosages considérés. Ceci correspond à 41 et 27% d'économie par rapport à l'enfouissement.

On voit encore une fois que les doses à 500 sont moins avantageuses qu'à 300 kg et que ce rapport est principalement dû à la différence du prix de la chaux pour l'usine par rapport à sa valeur agricole; moins de chaux égale donc plus d'avantages monétaires.

Deux situations peuvent changer drastiquement ces calculs. Pour les stations d'épuration ayant des quantités de phosphore égales à la moyenne de la province, la valeur fertilisante sera de beaucoup augmentée. D'autre part, l'augmentation plus que probable des coûts au site d'enfouissement favorisera d'autant la valorisation agricole. Ces deux situations combinées (supposant un coût d'enfouissement de 18.$/t) situeraient le gain net final à $20.00 et $18.00/t manipulée à 30% m.s.t.

La valorisation agricole apporte aussi une économie difficilement chiffrable actuellement, sur la longévité des sites d'enfouissement en général. Il faut de plus considérer d'autres aspects sociaux tels que l'acceptabilité des boues chaulées par l'agriculteur. Les gains mentionnés au tableau 7.10 représentent les économies qui permettront la mise en place des infrastructures et la méthodologie du chaulage des boues à la station.

TABLEAU 7.9: ECONOMIE DE MANUTENTION DES BOUES STABILISEES EN MILIEU AGRICOLE VERSUS AU SITE D'ENFOUISSEMENT SELON DEUX TAUX DE M.S.T. (1)

| MST initial (%) | Dose de chaux (kg CaO/t.m.s.) | Masse supplémentaire (%) | Economie réalisée (%) | Economie réalisée ($/t initiale) |
|---|---|---|---|---|
| 14.7 | 0 | 0 | 43 | 6.50 |
| 14.7 | 300 | 5 | 40 | 6.07 |
| 14.7 | 500 | 8 | 39 | 5.82 |
| 25.0 | 0 | 0 | 43 | 6.50 |
| 25.0 | 300 | 8 | 39 | 5.82 |
| 25.0 | 500 | 14 | 35 | 5.31 |

(1) L'économie réalisée est basée sur un coût d'épandage agricole à $8.50/t et un prix d'élimination au site d'enfouissement de $15.00/t. Ceci ne comprend pas l'achat de la chaux.

TABLEAU 7.10: BILAN ECONOMIQUE GLOBAL D'UTILISATION DE LA CHAUX

| PARAMETRES CONSIDERES | VALORISATION AGRICOLE Boues chaulées Dose 300 ($/t de produit final) | VALORISATION AGRICOLE Boues chaulées Dose 500 ($/t de produit final) | ELIMINATION AU SITE D'ENFOUISSEMENT SANITAIRE ($/t) |
|---|---|---|---|
| **DETAILS DES COUTS** | | | |
| Coût d'achat de la chaux par la station | 7.10 | 10.00 | N.A. |
| Coût du transport de la station à la ferme | 5.00 | 5.00 | N.A. |
| Coût de reprise et d'épandage sur la ferme | 3.50 | 3.50 | N.A. |
| Coût de transport au site d'enfouissement | N.A. | | 6.50 |
| Coût au site d'enfouissement | N.A. | | 8.50 |
| Total des coûts impliqués | 15.60 | 18.50 | 15.00 |
| **DETAILS DES ECONOMIES** | | | |
| Economie: Valeur des boues en amendements calcaires | 4.30 | 6.00 | N.A. |
| Economie: Valeur des boues en fertilisants divers | 3.20 | 2.60 | N.A. |
| Total des économies | 7.50 | 8.60 | 0.0 |
| Coût de la valorisation ou de l'élimination | 8.10 | 9.90 | 15.00 |
| Coût ajusté de l'élimination au site d'enfouissement (1) | 13.90 | 13.50 | <======| |
| Gain net final de la valorisation sur l'enfouissement | 5.79 | 3.60 | |

Remarques: Basé sur un taux de matière sèche final égal à 30%, volume total augmenté de 8% pour dose 300 et de 11% pour dose 500.
Il s'agit d'une moyenne entre les boues COND et STAB pour chaque dose.

La chaux éteinte devrait permettre des économies de polymères suffisantes pour ramener le prix de celle-ci égal à celui de la chaux vive.

(1) Une tonne chaulée à dose 300 final équivaut à 0.93 tonnes initiales qui aurait été évacuée au site d'enfouissement. Pour la boue à dose 500, c'est 0.90 t. Le coût du site d'enfouissement a été modifié en conséquence.

Ce bilan étant présenté de façon globale, on peut maintenant considérer divers scénarios de partage potentiel qui pourront être supportés soit par l'usine d'épuration ou par l'agriculteur.

Scénarios de partage des coûts possibles

| | | Station ($/t à 30% m.s.) Boue a 300 kg | Agriculteur |
|---|---|---|---|
| 1) Si la station supporte tous les coûts et l'agriculteur tous les bénéfices agricoles | Coût | 15.60 | 0.00 |
| | Economies | 13.89 | 7.50 |
| | Coût net | 1.71 | (7.50) |
| 2) Comme # 1, si la station ne ne considère pas l'achat de la chaux (item 1) | Coût | 8.50 | 0.00 |
| | Economie | 13.89 | 7.50 |
| | Coût net | (5.39) | (7.50) |
| 3) Si la station considère l'achat de la chaux mais fait supporter le coût d'épandage par l'agriculteur | Coût | 12.10 | 3.50 |
| | Economie | 13.89 | 7.50 |
| | Coût net | (1.79) | (4.00) |
| 4) Comme # 3, si l'agriculteur ne comptabilise que ses frais variables (0.42$ vs 3.50$) | Coût | 12.10 | 0.42 |
| | Economies | 13.89 | 7.50 |
| | Coût net | (1.79) | (7.08) |
| 5) Si l'agriculteur ne comptabilise que ses frais variables à l'épandage mais ne considère pas la valeur des boues en fertilisant | Coût | 12.10 | 0.42 |
| | Economies | 13.89 | 4.30 |
| | Coût net | (1.79) | (3.88) |
| 6) Tous les coûts supportés par la station mais l'agriculteur paie 75% de ce qu'il économise en chaux | Coût | 15.60 | 3.22 |
| | Economies | 17.11 | 7.50 |
| | Coût net | (1.51) | (4.28) |
| 7) Si l'agriculteur fait l'épandage gratuitement en contrepartie de la valeur fertilisante | Coût | 12.10 | 0.00 |
| | Economies | 13.89 | 4.30 |
| | Coût net | (1.79) | (4.30) |
| 8) Comme le scénario # 7, mais l'agriculteur paie 50% de ce qu'il économise en chaux épandue | Coût | 12.10 | 0.00 |
| | Economies | 16.04 | 2.15 |
| | Coût net | (3.94) | (2.15) |

( ) = Economie réalisée

C'est probablement les scénarios 7 et 8 qui semblent les plus appropriés tant en ce qui concerne l'acceptabilité du partage, que le montant d'économie ou de bénéfice réalisés par chacun des groupes.

En conclusion, tant qu'on ne considèrera pas tous les coûts impliqués pour l'usine et la méthodologie exacte qui sera suivie, il est difficile de faire un calcul économique précis compte tenu du grand nombre de variables impliqués et de situations potentielles pouvant survenir.

Cependant, il est indéniable que la boue chaulée a une grande valeur agricole même si l'azote est partiellement disparue. La chaux apportée à la station est retournée monétairement sur les sols à 60% de sa valeur monétaire initiale, mais apporte à l'agriculteur un produit essentiel pour sa culture.

Le bilan global montre aussi que si l'usine est équipée des installations nécessaires, le gain net est positif. Cette situation sera davantage améliorée si les boues contiennent la quantité de phosphore qu'on en attend et si les coûts d'élimination au site d'enfouissement augmentent. Le chaulage des boues en vue de la valorisation agricole est donc économiquement justifiable et dégagent des montants utilisables pour la mise en place des infrastructures à l'usine.

Ces calculs ne tiennent pas compte de tous les aspects plus subjectifs que représente l'épandage des boues en agriculture (acceptabilité, apparence, odeur, maniabilité, etc.), mais ils sont sans équivoque améliorés par rapport à la boue non chaulée et non stabilisée. Aussi, aucune perte de lixiviat de drainage et de valeur fertilisante n'a été considérée dans ces calculs car on suppose qu'à cause de la siccité ils seront conservés.

Enfin, une étude économique plus intensive s'appuyant sur des coûts de construction réels et un scénario de valorisation en agriculture bien choisi, devra être faite pour finaliser l'intérêt économique du chaulage des boues.

## 8. CONSIDERATIONS, CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Avant de tirer des conclusions globales concernant cette étude, il est important de présenter les considérations suivantes:

C-1 Cette étude a été réalisée à partir de boues non stabilisées produites à St-Hyacinthe. Des différences importantes peuvent exister entre ces boues et celles produites dans d'autres usines ailleurs au Québec.

C-2 Les boues produites à Saint-Hyacinthe sont particulièrement pauvres en phosphore; les teneurs moyennes relevées au Québec sont trente fois plus élevées que celles mesurées lors de cette étude.

C-3 Les boues utilisées dans le projet ont été déshydratées sur un filtre à bande qui a produit des boues déshydratées non chaulées à 14.7% m.s.t., le chaulage a permis d'augmenter la siccité à 20-25% m.s.t. Un tel produit laisse écouler des quantités importantes de liquide, ce qui pose certaines contraintes au niveau de la manutention et de l'entreposage des boues.

C-4 Il est important de noter que l'installation mise en place dans cette étude amenait une réhydratation "forcée" des boues, puisque l'eau d'arrosage se trouvait emprisonnée à la surface du tas de boues. Il est évident que si l'eau avait pu s'écouler librement, la majeure partie de celle-ci aurait ruisselé sur le tas sans y pénétrer.

C-5 Les implications du chaulage sur le fonctionnement de l'usine d'épuration n'ont pas été étudiées. Dans le cas des usines existantes, ce procédé peut nécessiter des modifications importantes, surtout dans le cas du conditionnement. L'ajout de la chaux en stabilisation devrait présenter plus d'intérêt car cette méthode peut être employée peu importe le procédé de conditionnement et de déshydratation déjà utilisé.

C-6 Les considérations économiques tiennent compte des conditions locales et il est bien entendu que les coûts et bénéfices peuvent varier d'une région à l'autre. Les coûts de prise en charge au site d'enfouissement ne peuvent toutefois qu'augmenter dans les années à venir. Ce facteur, combiné à une teneur des boues en phosphore plus élevée, amène à un bilan économique global encore plus favorable à une valorisation agricole.

Compte tenu des considérations précédentes, l'analyse des résultats obtenus dans cette étude permet, sur les plans faisabilité, amendements, dosage, épandage, etc..., les conclusions suivantes:

Faisabilité

Co-1 Le chaulage des boues d'épuration en vue de leur utilisation en agriculture s'avère tout à fait réalisable et permet une hygiénisation efficace. Ce procédé permet d'obtenir un matériel contenant une proportion très importante d'éléments nécessaires à l'agriculture et l'apparence du produit devrait amener une bonne acceptation par le milieu agricole.

Co-2 L'utilisation de la chaux hydratée en conditionnement a permis d'améliorer la performance du filtre à bande et d'obtenir une meilleure déshydratation des boues tout en réduisant considérablement les mauvaises odeurs.

Co-3 Le chaulage des boues en COND ou en STAB à des doses de 300 ou 500 kg CaO/t.m.s. permet de maintenir un pH supérieur à 12 pendant plusieurs semaines; ceci assure une hygiénisation efficace des boues et les rend aptes à une valorisation agricole.

Amendements

Co-4 Sur un plan agronomique, les deux procédés de chaulage (conditionnement et stabilisation) peuvent être considérés équivalents. Par contre, le chaulage en stabilisation présente certains avantages du point de vue physique (taux de m.s.t plus élevé, écoulements et réhydratation moindres, aucun lessivage de la chaux, etc..) en plus d'être moins contraignant pour une usine déjà existante.

Co-5 Les boues chaulées préparées à partir de boues non stabilisées possèdent un taux de matières volatiles élevé et un rapport C/N relativement bas, ce qui en fait un amendement organique très intéressant pour l'agriculture.

Co-6 Les boues chaulées contiennent une part très importante d'éléments fertilisants tels l'azote, le potassium et le magnésium.

Co-7 L'azote présent dans les boues chaulées se retrouve presqu'exclusivement sous forme organique.

Co-8 L'ajout de chaux aux boues amène la volatisation de tout l'azote ammoniacal présent dans celles-ci.

Co-9 La chaux présente dans les boues chaulées constitue la composante la plus importante, autant en quantité relative qu'en valeur monétaire. De plus, il s'agit du seul élément dont la teneur peut être "contrôlée" et gardée constante.

Co-10 L'ajout de chaux aux boues amène généralement une légère diminution des teneurs en métaux lourds dans le produit final.

Co-11 La méthode de caractérisation de la pierre à chaux agricole, appliquée à la boue chaulée, ne permet pas d'évaluer correctement la valeur en amendement calcaire de celle-ci.

Co-12 Le taux de matière sèche des boues chaulées augmente avec la dose de chaux utilisée. Pour la même quantité de chaux utilisée, la siccité est plus élevée pour les boues chaulées en stabilisation que pour celles chaulées en conditionnement.

Epandage

Co-13 L'épandage des boues chaulées ne devrait pas poser de problèmes importants au niveau de la manutention et des quantités à appliquer. La majorité des épandeurs conventionnels pourraient être utilisés.

Dosage

Co-14 La dose 300 kg CaO/t.m.s. présente certaines lacunes relativement à la manutention, l'entreposage et l'apparence générale (lessivage accru de la chaux, angle de repos, hydratation, drainage, siccité, etc..). Pour ces raisons, la dose 300 doit être considérée comme étant un minimum. La dose 500 kg CaO/t.m.s. ne présente que des avantages au point de vue agronomique ou physique. Cependant, le facteur à considérer pour fixer une dose limite supérieure est d'ordre économique. Une dose supérieure à 500 kg CaO/t.m.s. est difficilement justifiable du point de vue économique.

Co-15 L'utilisation d'une dose de 230 kg CaO/t.m.s. permettrait de combler les besoins en azote d'une culture de maïs tout en effectuant un chaulage normal tel qu'effectué à tous les cinq ans. Pour obtenir le même résultat avec une culture d'orge, la dose employée serait de 545 kg CaO/t.m.s. de boues. Si on double la dose de CaO en maïs (460 kg CaO/t.m.s.) on obtiendra un produit qui permettra le chaulage d'un sol tout en amenant 50% de l'azote nécessaire à la culture; cette option peut être très intéressante.

Valeur monétaire

Co-16 Une étude sommaire des coûts (ne prenant pas en compte les infrastructures et l'opération à l'usine) impliqués par la valorisation des boues chaulées en agriculture démontre que cette pratique peut être économiquement rentable. Il apparaît que le chaulage des boues pour une valorisation agricole devient une alternative intéressante à la mise en décharge.

Co-17 L'utilisation de boues chaulées peut représenter des économies très importantes en fertilisants et en chaux agricole. Sur une base annuelle, les coûts épargnés à l'hectare vont de 17 à 30% selon le type de culture et la dose de chaux utilisée.

Drainage et Filtrat

Co-18 Une quantité importante de liquide s'écoule hors du tas de boues chaulées (7 à 27% du volume). La majorité des éléments présents dans le filtrat de drainage se retrouvent sous forme dissoute. Une partie importante de ce filtrat est formée de composés organiques (C et N) et le pH est élevé, ce qui peut représenter un risque de pollution pour les eaux de surface. Cependant, très peu de métaux lourds se retrouvent dans ce liquide drainé.

Co-19 La quantité de liquide s'écoulant des boues est inversement proportionnelle au taux de matières sèches initial. Les boues chaulées se drainent jusqu'à atteindre un taux de m.s.t. de 22 à 25%.

Co-20 Dans les boues conditionnées, on observe un lessivage graduel des particules de chaux dans la masse de boue, ce phénomène est plus évident dans le cas du COND 300.

Co-21 Les boues conditionnées drainent 2.5 fois plus d'eau que les boues stabilisées, ce drainage s'effectue aussi plus rapidement en conditionnement.

Co-22 Si on examine la tendance à absorber l'eau de pluie, il apparaît que les boues conditionnées absorbent l'eau beaucoup plus facilement que les boues stabilisées. L'eau de pluie ruisselle sur un tas de boues chaulées en stabilisation

sans y pénétrer, alors que dans le cas du conditionnement, une partie de l'eau pénètre dans le tas et en ressort chargée de matières dissoutes et en suspension. Ceci amène une baisse de la siccité des boues. Les boues COND 300 absorbent plus d'eau que les COND 500.

Les conclusions présentées précédemment permettent les recommandations suivantes:

R-1 Le chaulage des boues soit en conditionnement soit en stabilisation devrait être sérieusement considéré comme un moyen efficace de valoriser les boues en agriculture.

R-2 Un projet pilote de conditionnement et stabilisation des boues produites à St-Hyacinthe devrait être mis en place pour en mécaniser les opérations et en démontrer l'application en agriculture.

R-3 La valorisation agricole des boues d'épuration chaulées devrait être faite sur la base de la valeur en amendement calcaire, tout en prenant en considération la valeur fertilisante de ce produit de façon à amener au sol l'amendement calcaire requis sans provoquer un "surdosage" en azote ou en phosphore. Une dose d'environ 400 kg CaO/t.m.s. devrait permettre d'optimiser les avantages agricoles et économiques.

R-4 Toute structure d'entreposage pour des boues ayant une siccité inférieure à 30% devra prévoir la collecte de filtrat et son traitement.

R-5 Des essais similaires à ceux effectués dans le cadre du présent projet devraient être faits dans d'autres usines, afin de vérifier les conclusions obtenues à ce jour.

R-6 Des recherches ou études devraient être entreprises pour

. déterminer une méthode d'analyse fiable permettant d'évaluer en laboratoire la valeur en amendement calcaire des boues chaulées,

. déterminer l'effet de l'épandage des boues chaulées sur le pH du sol,

. mieux connaître les formes de phosphore présent dans les boues et leur bio-disponibilité.

1988 10 31

## DOCUMENTS DE REFERENCES


1) **Godfroy, B.** 1986. La chaux à tout boues de champ; traitement des boues d'épuration en Artois Picardie, Génie rural, décembre 1986.

2) **Anonyme.** 1987. Alkaline treatment and utilization of municipal wastewater sludges. A presentation to water pollution control department. National Kiln dust management association and National Lime Association.

3) **Springer, H.J.** New method for treating sewage sludge with burnt lime. Document publicitaire.

4) **Ferland, D. et Millette D.** 1984. Essais d'épandeurs à fumier pâteux. Rapport final, dossier no. 145D.01706-3-ME16, Agriculture Canada.

5) **Chagnon, R.** 1988. La manutention du fumier semi-liquide, Agriculture Canada (en préparation).

6) **Anonyme.** Manuel de gestion agricole des fumiers. Gouvernement du Québec, Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation.

## DOCUMENTS DE REFERENCE (SUITE)


7) **Anonyme.** Références économiques en agriculture. Comité de références économiques en agriculture du Québec, Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec.

8) **Westphal, P.A. et Christensen G.L.** 1983. Lime stabilization: effectiveness of two process modifications. Journal of water pollution control federation, Washington, USA.

9) **Anonyme.** 1979. Process design Manual for sludge treatment and disposal. U.S. Environnemental Protection Agency, No EPA 625/1-79-011, Center for env. Research information technology transfer.

10) **ARPEA.** 1984. Utilisation des boues dans l'agriculture, Journée technique de l'Association Roman de Protection de l'Eau et de l'Air (Suisse) du 8 juin 1984.

## TABLE DES MATIERES

### ANNEXES

ANNEXE A : Matériel et méthodes : Description détaillée

ANNEXE B : Liste des méthodes d'analyses utilisées

ANNEXE C : Essais préliminaires

ANNEXE D : Essais de dosage en polymère

ANNEXE E : Rapport d'étude supplémentaire sur l'analyse du phosphore

ANNEXE F : Informations utiles sur la chaux de la raffinerie du sucre du Québec

ANNEXE G : Revue sur les épandeurs

SUPPLEMENT A L'ANNEXE G

# ANNEXES

# ANNEXE A

## MATERIEL ET METHODES : DESCRIPTION DETAILLEE

## MATERIEL ET METHODES

### A-1: Mise en situation générale

En tenant compte des principes généralement en usage en Europe et compte tenu des objectifs du présent projet, des éléments composant la base de la présente étude peuvent alors être définis. Les sections qui suivent énumèrent les détails du montage utilisé et les activités qui ont eu lieu.

### A-2: Méthodologie

Principes de chaulage

Compte tenu des pratiques courantes utilisées en Europe et décrites précédemment, deux principes de chaulage seront utilisés pour préparer les boues.

Conditionnement

Les boues liquides telles que produites par l'usine sont conditionnées normalement à l'aide du polymère Percol 757. Préalablement, les boues auront été conditionnées ou mélangées à de la chaux sous forme éteinte. Cette chaux a d'abord été mouillée de sorte qu'elle a été ajoutée aux boues sous forme de lait de chaux. Les boues liquides chaulées ont ensuite été déshydratées par un filtre à bande pressante et le produit final a servi aux études.

## Stabilisation

Les boues liquides telles que produites par l'usine ont d'abord été conditionnées normalement à l'aide du polymère Percol 757 et déshydratées par le filtre à bande pressante utilisé lors des essais. Ces boues déshydratées ont ensuite été mélangées avec de la chaux sous la forme vive, ajoutée en poudre et le produit final a servi aux études.

## Dosage et type de chaux

Pour chacun des deux principes de chaulage, deux dosages ont été appliqués:

- 300 kg (CaO équivalent)/t.m.s. à traiter;

- 500 kg (CaO équivalent)/t.m.s. à traiter.

Le dosage a été basé sur l'équivalent CaO afin de fournir la même quantité de matière active pour la chaux vive et la chaux éteinte.

La chaux utilisée sous forme vive ou éteinte, a été achetée localement à la Coopérative de St-Denis-sur-Richelieu, où elle était disponible en sac de 22.7 kg. Il s'agit d'une chaux de marque Jolichaux, de la cie Graybec, et provenant de la carrière de Jolichaux à Joliette. Les résultats d'analyse pour la chaux sont présentés plus loin.

## Volume de boues chaulées

Pour obtenir suffisamment de boues chaulées pour l'analyse, et compte tenu que les essais se sont faits à échelle réduite, le volume de boue à préparer a été de 2 barils de 200 litres de boues chaulées pour chacune des quatre (4) combinaisons.

Type de boues

Les boues utilisées dans la présente étude étaient de type non stabilisé. Tel que défini précédemment, deux critères ont été utilisés afin de s'assurer que les boues étaient jugées non stabilisées, soit le critère de l'âge des boues et le pourcentage de solides volatils.

Provenance des boues

Pour le présent projet, il était prévu que les boues liquides seraient déshydratées par un entrepreneur spécialisé possédant une unité mobile de conditionnement et de déshydratation et que les boues déshydratées seraient chaulées par le consultant. En somme, il était important que les boues, qu'elles soient chaulées avant ou après la déshydratation, puissent être déshydratées par le même équipement de déshydratation. D'autre part, il n'est pas opportun d'exiger d'une usine en opération de modifier ses procédures ou de risquer un mal fonctionnement de l'usine ou d'acheter des équipements spécialisés dans le seul but d'obtenir une petite quantité de boues chaulées. C'est pourquoi, étant donné que cette possibilité existait, nous avons choisi d'utiliser une unité mobile de déshydratation pouvant opérer de façon complètement autonome et indépendante de l'usine choisie. En fait, aucune usine ne possède les équipements nécessaires pour mélanger la chaux avec les boues et s'assurer de la qualité du procédé, de même que pour mélanger les boues déshydratées avec de la chaux vive.

Il existe plusieurs usines produisant des boues non stabilisées en continu ou en discontinu, mais plusieurs d'entre elles ne possèdent pas les équipements de déshydratation. Par contre, elles ont souvent des réservoirs de stockage temporaire pour les boues liquides. Il a été jugé important que l'usine devant être choisie, puisse d'une part produire des boues non stabilisées en continu et d'autre part être équipée des éléments nécessaires à la déshydratation en continu. Afin de s'assurer que dans le futur, si on devait procéder à des essais à

plus grande échelle, l'usine sélectionnée puisse être en mesure de développer la technologie au moindre coût possible et le plus rapidement possible.

Les usines utilisant un procédé biologique, produisant des boues non stabilisées en continu et possédant les équipements de déshydratation sont moins nombreuses. L'usine d'épuration de Saint-Hyacinthe a été identifiée comme l'une d'entre elles. Elle se situe de plus dans un environnement très agricole. Selon le procédé mis en place et suivant l'opération actuelle de l'usine, les boues produites sont évaluées entre 3 et 6 jours d'âge assurant ainsi qu'il s'agit vraiment de boues non stabilisées. L'autre critère a été vérifié lors des prises d'échantillons subséquentes.

Enfin, les dirigeants de la ville de Saint-Hyacinthe ainsi que de la Station d'Epuration de même que le consultant désigné à l'opération de l'usine, se sont tous montrés très favorables au présent projet. Pour toutes ces raisons et à cause de la proximité de l'usine par rapport au bureau du consultant, ont motivé le choix pour l'usine d'épuration de Saint-Hyacinthe. La figure 5.1 illustre les traitements effectués.

Installation physique de préparation des boues chaulées

La présente section vise à expliquer les équipements et la méthodologie utilisée pour la préparation des boues chaulées. Tout d'abord l'obtention de boues déshydratées non chaulées et chaulées puis subséquemment déshydratées a été effectuée à l'usine. Le chaulage des boues déshydratées a été effectué à l'atelier du consultant.

Installation à l'usine

L'unité mobile de conditionnement et déshydratation utilisée à l'usine ont été fournies par un entrepreneur de la région de Sherbrooke, soit:

R.B. Inspection,
C.P. 1084,
1304 Côte des Sables
Sherbrooke, Qc.
tél.: (819) 569-1122
Personne responsable: M. Rosaire Baillargeon

L'unité mobile principale comprend un générateur d'électricité, une pompe d'aspiration, deux bassins de préparation des polymères, un filtre à bande pressante et un convoyeur d'évacuation des boues déshydratées, ainsi qu'un petit laboratoire équipé pour obtenir certaines informations telles que les matières sèches, les matières volatiles, le pH et les tests de succion capillaire. L'unité mobile permet le dosage précis des constituants et est aussi particulièrement bien automatisée. Il s'agit d'une unité mobile particulièrement autonome et les seules branchements nécessaires à l'usine concernent l'apport en eau fraîche et en boues liquides.

Dans le cas du présent projet, les autres équipements utilisés étaient un camion vacuum utilisé pour mélanger les boues liquides avec la chaux et un container servant à accumuler les surplus de boues déshydratées.

La méthodologie suivie à l'usine est la suivante. Tout d'abord le camion vacuum a été rempli de boues liquides. Le volume de boues liquides contenues était alors mesuré à l'aide d'une règle et suivant une charte de remplissage, le volume en litre a été déterminé. Le contenu en matière sèche ayant été préalablement déterminé, la quantité de

chaux requise a alors été calculée. Le camion citerne a une capacité totale d'environ 7500 litres. La chaux sous sa forme hydratée a été pesée à l'aide d'une balance à fléau puis versée dans un baril de 220 litres contenant environ 150 litres d'eau. L'homogénéisation de l'eau et de la chaux pour en faire un lait de chaux était assurée par l'utilisation d'une pompe submersible placée dans le baril et qui recirculait sans cesse le matériel. Il s'agit d'une pompe de marque U-PUMP modèle U25K de 1/3 HP. Le mélange était toujours bien homogénéisé sans agrégats.

Après quelques minutes de mélange, le lait de chaux a été aspiré dans le camion citerne où le mélange s'est effectué de deux façons, soit en injectant de l'air à l'aide du boyau d'aspiration, ayant pour effet de bien mélanger toute la masse intérieure, mais aussi en déplaçant le camion de façon saccadée de l'avant vers l'arrière, assurant ainsi un mélange dans le sens longitudinal.

Une fois le mélange bien assuré, le camion citerne était branché à l'entrée de l'unité mobile. A ce stade, une pompe broyeuse à débit constant mais ajustable, pompe les boues chaulées vers le filtre à bande pressante. Il s'agit d'une pompe à débit positif "SEEPEX" de 5 HP, d'un broyeur "Muffin Monsters" modèle VJ1835 de 5 HP et d'un filtre à bande "Guinard" modèle EX-100, d'une largeur d'un mètre. Deux bassins de polymère d'environ 500 litres chacun, préalablement préparés, assurent un approvisionnement régulier en Percol 757. Le polymère est injecté à l'aide de doseurs sur la ligne d'amenée, à proximité du filtre à bande pressante. Le matériel est alors passé sur le filtre à bande pressante. Le liquide revient vers l'usine par un boyau alors que le solide est dirigé sur un tapis convoyeur, dirigeable soit dans les barils de récupération ou vers le containeur d'appoint. Avant de récupérer les boues prévues pour le présent projet, le filtre à bande pressante fonctionnait pendant environ 15 minutes de façon à permettre à l'ensemble du système de s'équilibrer et d'atteindre un niveau d'opération régulier. Pendant cette période, les boues ainsi récoltées étaient dirigées vers le containeur à déchets.

Préalablement à tous les essais, un premier test a été effectué par l'opérateur de l'unité mobile afin d'ajuster la quantité de polymères et la vitesse du filtre à bande pressante en utilisant des boues liquides non chaulées. Une fois que l'ensemble a été ajusté, aucun changement n'a été apporté, soit à la dose de polymères, soit à la vitesse de déshydratation, afin que toutes les boues obtenues subissent le même traitement.

L'ensemble de cette opération incluant les tests préliminaires et des tests plus spécifiques à la fin ainsi que le nettoyage des lieux a duré environ 4 jours.

Installation à l'atelier

Les installations de préparation des boues à l'atelier concernent uniquement le chaulage avec de la chaux vive des boues déshydratées non chaulées.

Tout d'abord, les barils de boues déshydratées non chaulées ont été épandues en une couche d'environ 10 à 15 cm sur une feuille de contreplaqué. Connaissant le poids des boues ainsi que le taux de matière sèche, la quantité de chaux vive à ajouter a alors été calculée et étendue en une couche uniforme au-dessus des boues déshydratées.

A l'aide d'une pelle, le matériel a ensuite été déposé dans un malaxeur à béton, d'une capacité de 0.085 $m^3$. Le temps de mélange était déterminé pour permettre une bonne homogénéité de la chaux vive et des boues déshydratées. Etant donné qu'il s'agit d'un système en fournée, à la fin d'un mélange, ce dernier était déversé dans les barils et une nouvelle fournée était recommencée.

A-3: Description des activités et des prises d'échantillons

Tests préliminaires

Les discussions qui ont eu lieu avec différents organismes et différentes personnes, de même que certaines indications provenant de la littérature ont soulevé, dès le départ, un certain nombre d'incertitudes pouvant peser lourdement sur l'opération générale du projet. Ces incertitudes avaient principalement pour objet la sédimentation rapide de la chaux en phase liquide, pouvant ainsi bloquer les tuyaux, les pompes ou même se déposer dans le fond de la citerne vacuum. D'autre part, il était fait mention du danger de colmatage du filtre à bande pressante, et même de la carbonatation du filtre, bouchant ainsi irrémédiablement tous les pores. On mentionnait également l'abrasion des pompes et des pièces principales du filtre à bande pressante.

D'autre part, le haut pH obtenu par le mélange pouvait, selon certaines sources, s'avérer problématique et même dangereux au niveau des pièces mécaniques ou des joints des conduites. Enfin, un haut pH est généralement incompatible avec le Percol 757 qui était visé pour les présents essais. Afin de vérifier ou de soulever ces incertitudes, le projet a dû être retardé et des tests préliminaires ont été effectués afin de vérifier certaines de ces affirmations.

Des tests préliminaires ont donc été faits sur un mélange de chaux, de polymères et de boues, afin de suivre l'évolution de la sédimentation et de s'assurer que le pH puisse être maintenu à un niveau plus élevé que 12 pendant au moins 2 jours. Les doses de chaux utilisées à ce moment étaient de 50, 100, 200, 300 et 500 kg de CaO équivalent/t.m.s. Le pH pour sa part, a été suivi tant au niveau de la quantité de chaux ajoutée que la durée.

A-4: Description de l'activité principale

Préparation des boues

Les boues liquides provenant de l'usine d'épuration ont d'abord été conditionnées à l'aide de la chaux éteinte, sous forme de lait de chaux et à l'aide du polymère (Percol 757). Cette boue conditionnée a ensuite été déshydratée par le filtre à bandes pressantes. Cette opération a été effectuée pour chacune des deux doses visées, avec la chaux éteinte.

Une autre quantité de boues liquides a ensuite été conditionnée à l'aide du même polymère (Percol 757) selon les procédures habituelles mais aucune quantité de chaux n'a été ajoutée. Ces boues ont ensuite été déshydratées par le même filtre à bandes pressantes. Quatre barils de 200 litres ont été remplis.

Avant l'ajout de polymères et/ou de la chaux pour chaque scénario, trois échantillons ont été analysés pour le contenu en solides totaux (S.T.) volatils (S.V.) et pH. Ces échantillons ont été analysés sur place.

Pour l'ensemble des scénarios, trois autres échantillons de boues liquides ont été analysés en laboratoire pour leur contenu en solides totaux (S.T.), volatils (S.V.), pH et valeur en amendement calcaire (CaO). Un de ces échantillons a été analysé de façon complète soit en y ajoutant le NTK. NH4, NO2,-NO3, Ptot, P.ortho, K, Ca, Mg, redox, COT et les métaux lourds.

Après la déshydratation, un échantillon de chacun des trois scénarios a été puisé en mélangeant quatre prises ensemble. Ces échantillons ont été analysés pour les S.T., S.V. pH, NTK, $NH_3$, $NO_2$-$NO_3$, $Pto^t$, Portho, K, Ca, Mg, valeur en amendement calcaire (CaO) et le redox.

Le lixiviat s'écoulant du filtre pendant chaque session, a été analysé sur place pour le contenu en S.T. et le pH. Un autre échantillon a été envoyé au laboratoire pour vérifier les mêmes données.

Transport des boues

Les huit (8) barils ont ensuite été transportés à l'atelier du consultant.

Chaulage à l'atelier

Les boues déshydratées non chaulées ont alors subi l'activité de chaulage. Les boues et la chaux vive ont été mélangées dans le malaxeur à béton selon les deux proportions décrites précédemment.

Pour chacun des deux dosages, deux barils de 220 litres ont été remplis. Environ 24 heures après le mélange, un échantillon a été prélevé pour chacun des deux dosages en mélangeant quatre prises. L'analyse a porté sur les paramètres décrits à la section précédente pour les boues déshydratées chaulées.

Période d'attente

Une période de repos d'une semaine a été permise pour laisser le temps au matériel de stabiliser ses conditions. Au cours de cette période, la température a été suivie.

Analyses supplémentaires

Après cette période d'une semaine un échantillon pour chacun des qua-

tre types de produit a été analysé. Chaque échantillon était le mélange de quatre prises. Ils ont été analysés pour les paramètres suivants:

S.T., S.V., pH, valeur amendement calcaire (CaO), NTK, $NH_3$, $NO_2$-$NO_3$, Ptot, ortho P, K, COT, Ca, Mg, redox, capacité d'échange cathionique, les métaux lourds sous la forme totale soit: AS, AL, B, Cd, Co, CR, CU, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Zn, Fe.

Toutes ces analyses visaient l'évaluation de la valeur fertilisante ou agronomique des boues chaulées.

Enfin, des échantillons de la chaux utilisée ont aussi été analysés pour le contenu en CaO et en métaux lourds.

Essais de réduction des polymères

Etant donné la disponibilité du laboratoire de l'entrepreneur et parce que toutes les installations étaient déjà en place, de même que pour satisfaire à la fois la curiosité de l'entrepreneur et du consultant, des essais très sommaires ont été effectués afin de connaître ou d'évaluer l'effet que pourrait avoir l'utilisation de la chaux sur la réduction de la quantité de polymères utilisés. En effet, tel que précisé précédemment, la dose de polymères utilisés pour les essais a été basée sur la calibration en fonction des boues normales, c'est-à-dire sans ajout de chaux et la dose ainsi établie n'a pas été changée pendant toute la durée des essais.

Ainsi, en utilisant la dose de 500 kg de chaux éteinte par tonne de matière sèche dans les boues liquides, la dose de polymères utilisés a été abaissée en six tranches égales.

A chacune des doses de polymères, un certain volume de boues était déshydraté afin de permettre une certaine stabilité à l'intérieur des équipements doseurs et de déshydratation. Pour chacun de ces essais, la dose de polymères a été enregistrée, et un échantillon de boues déshydratées a été analysé pour son contenu en matière sèche. De plus, un échantillon de boues liquides a aussi été analysé selon le test de succion capillaire qui détermine généralement la qualité de détachement de l'eau des particules de solides. De même diverses observations ont été notées sur le comportement du filtre à bandes pressantes.

Il faut bien comprendre que ces essais ne sont que superficiels et ne serviront qu'à donner un aperçu de la possibilité des réductions de la quantité de polymères selon la dose de chaux qui a été utilisée dans ce cas.

A-5: Autres activités

Les autres activités visent à connaître les caractéristiques plus physiques et le comportement du produit en diverses situations. Ces activités spécifiques sont décrites ci-après.

- Entreposage à froid: 22.5 litres de chaque produit ont été déposés en tas sur un panneau. Ces quatre échantillons ont été placés à l'intérieur d'un congélateur à -18°C pendant 7 jours. A la fin de cette période, ils ont été ramenés à la température ambiante pour être étudiés manuellement et visuellement. Lors du dégel, le liquide a été récolté puis mesuré. Aucun échantillon n'a été analysé en laboratoire.

- Entreposage en tas: Trente litres de chaque produit ont été déposés en tas à l'extérieur afin de voir et d'étudier le comportement lorsqu'entreposé à l'extérieur. L'affaissement et l'angle de repos ont été notés mais aucun échantillon pour fins d'analyse n'a été étudié.

- Quantité de lixiviat: Ce test vise à étudier le drainage des boues chaulées lorsque déposées en tas afin d'obtenir des informations sur la quantité de liquide pouvant contaminer les alentours d'un entreposage. Pour ce faire, un drain agricole de 300 mm de dia. et 600 mm de longueur a été utilisé afin de servir de réservoir vertical. Dans la partie inférieure du drain, un double grillage tel qu'utilisé pour les portes et châssis a été installé pour permettre le passage de l'eau et en même temps retenir les boues chaulées à l'intérieur du tube. Sous le grillage, un recouvrement de plastique, troué au centre, dirigeait le liquide récolté vers un récipient.

Dans chacun des tubes, trente-cinq litres de matériel ont été déposés. Dans le cas de cet essai de drainage, un réservoir supplémentaire dans lequel des boues déshydratées non chaulées ont été ajoutées pour fins de comparaison.

Une première mesure de volume écoulé a été effectuée 11 jours après le remplissage des drains et une deuxième mesure a été effectuée 28 jours après.

A la fin de cet essai, un échantillon du lixiviat, de chacun des tubes, a été analysé pour la quantité de matière sèche, volatile, le pH et la quantité de CaO et la conductivité. De plus, un échantillon soit celui du conditionnement avec la dose de 300 a été analysé de façon complète incluant tous les éléments fertilisants de même que les métaux lourds et la conductivité.

- Hydratation et lessivage: Ce test visait à connaître les réactions d'une hydratation et les volumes de lessivage qui en résultent afin de simuler un entreposage en tas à l'extérieur et donc l'absorption et la perméabilité à la pluie.

Le montage utilisé a été le même que pour l'essai précédent soit des tubes de drainage en polyéthylène. Les quatre boues chaulées de même qu'une boue déshydratée non chaulée ont été comparées l'une à l'autre. Ainsi, 35 litres de chaque produit ont été déposés dans chacun des tubes. A chaque jour, pendant cinq jours consécutifs, 900 ml répartis en six doses de 150 ml/dose ont été ajoutés, de sorte qu'un volume total de 4.5 litres a été ajouté pour les cinq jours d'essais. Ceci représente l'équivalent d'une pluie de 12 mm sur la surface de la couche à chaque jour. Une première mesure du volume écoulé a été prise 5 jours après la fin de l'arrosage ou 11 jours après le remplissage des drains. Une deuxième lecture a été prise 28 jours après le remplissage des drains ou 23 jours après la fin de l'arrosage.

Pour chacun des tubes, un échantillon du lixiviat a été analysé pour les solides totaux, volatils, le pH, la quantité de CaO et la conductivité. De plus, les échantillons de chaque type de boue ont été analysés pour la quantité de matière sèche. Ainsi, un échantillon des boues a été pris le lendemain du dernier arrosage et un autre échantillon a été analysé une semaine après la fin du dernier arrosage.

- Angle de repos: L'angle de repos et l'affaissement ont déjà été calculés précédemment. Cependant, une fois que toutes les boues nécessaires pour le projet ont été utilisées, le restant des barils a été déposé sur une plate-forme de béton à l'extérieur afin d'obtenir un plus gros volume en tas et ainsi pouvoir déterminer ou obtenir une meilleure estimation de l'angle de repos et de l'affaissement compte tenu de chaque type de boues.

- Autres observations: Pendant tous les essais, diverses observations ont été notées sur le degré apparent d'odeurs relatives, l'apparence générale du produit en terme d'acceptabilité, le développement d'insectes, de même que sur la maniabilité apparente ou si on veut l'aspect physique des boues pour chaque type afin de noter les différences entre chacune.

# ANNEXE B

## LISTE DES METHODES D'ANALYSES UTILISEES

ANNEXE B

## LISTE DES METHODES D'ANALYSE UTILISEES

| ANALYSE | UNITES | METHODE |
|---|---|---|
| MST | % | Séchage à 105°C. |
| MVT | % p/r à MST | MST au four à 550°C. |
| MES | % | S'applique seulement pour les boues liquides, filtration sur 934 AH (1 um), volume minimum : 50 ml. |
| MVS | % p/r à MES | Boues liquides seulement, MES au four à 550 C. |
| pH | unités pH | Dans le cas des boues liquides, l'analyse se fait sans aucune dilution. Pour les boues désh. 1:1 (1 boues : 1 eau); élément de verre. |
| Pot redox | millivolts | Dans le cas des boues liquides l'analyse se fait sans aucune dilution. Boues désh. 1:1 (1 boues : 1 eau), élément de platine. |
| Conduct. | umhos/cm | Conductivomètre. |
| NTK | mg/kg MS | Digestion $H_2SO_4$ + $CuSO_4$ + $K_2SO_4$ + Se, distillation, titrage. |

## LISTE DES METHODES D'ANALYSE UTILISEES (SUITE)

| | | |
|---|---|---|
| NO2-NO3 | mg/kg MS | On continu la distillation après NH4 avec alliage Devarda + titrage. |
| NH4 | mg/kg MS | Distillation + titrage. |
| P total | mg/kg MS | Digestion H2SO4-HClO4, colorimétrie. |
| Ortho-PO4 | mg/kg MS | Extraction à l'eau, colorimétrie. |
| COT | % | Combustion dans l'appareil LECO (éch. séché a 105 C, tamisé à 100 mesh). |
| K | mg/kg MS | Digestion HNO3-HCl, bloc chauffant ICP. |
| Ca | mg/kg MS | Digestion HNO3-HCl, bloc chauffant ICP. |
| Mg | mg/kg MS | Digestion HNO3-HCl, bloc chauffant ICP. |
| As | mg/kg MS | Même digestion que les autres métaux, dosage à l'AAS à générateur d'hydrure. |
| B | mg/kg MS | Digestion HNO3-HCl, bloc chauffant ICP. |
| Cd | mg/kg MS | Digestion HNO3-HCl, bloc chauffant ICP. |
| Co | mg/kg MS | Digestion HNO3-HCl, bloc chauffant ICP. |
| Cu | mg/kg MS | Digestion HNO3-HCl, bloc chauffant ICP. |

## LISTE DES METHODES D'ANALYSE UTILISEES (SUITE)

| | | |
|---|---|---|
| Cr | mg/kg MS | Digestion HNO3-HCl, bloc chauffant ICP. |
| Hg | mg/kg MS | Même digestion que les autres métaux, dosage à la vapeur froide. |
| Mn | mg/kg MS | Digestion HNO3-HCl, bloc chauffant ICP. |
| Mo | mg/kg MS | Digestion HNO3-HCl, bloc chauffant ICP. |
| Ni | mg/kg MS | Digestion HNO3-HCl, bloc chauffant ICP. |
| Pb | mg/kg MS | Digestion HNO3-HCl, bloc chauffant ICP. |
| Se | mg/kg MS | Même digestion que les autres métaux, dosage à l'AAS à générateur d'hydrure. |
| Zn | mg/kg MS | Digestion HNO3-HCl, bloc chauffant ICP. |
| CaO | éq. CaO | Mesuré par titration. |

# ANNEXE C

# ESSAIS PRELIMINAIRES

## ANNEXE C

### ESSAIS PRELIMINAIRES

Afin de prévoir le comportement des boues lors de la déshydratation, nous avons effectué quelques essais préliminaires au laboratoire de la station d'épuration.

Plusieurs personnes nous ont fait part de leurs craintes concernant les possibilités de chauler une boue liquide pour ensuite déshydrater ce produit sur un filtre à bandes pressantes. On craignait surtout que l'ajout de la chaux amène une sédimentation rapide dans la phase liquide et la formation d'un produit collant qui aurait obstrué les tuyaux et colmaté les pores des bandes pressantes. C'est pourquoi nous avons réalisé une série de tests préliminaires en laboratoire. Nous avons ainsi pu vérifier de visu l'aspect des boues liquides auxquelles on avait ajouté différentes doses de chaux hydratée. Nous nous sommes rapidement aperçu qu'il était préférable d'ajouter la chaux hydratée aux boues liquides sous forme de lait de chaux, l'ajout de chaux sous forme solide amenant presque inévitablement la formation de grumaux. Nous avons aussi examiné l'effet des polymères sur une boue liquide chaulée. Il est apparu évident que l'ajout d'un polymère était souhaitable, la chaux ne semblant pas altérer le phénomène de floculation.

Des boues liquides échantillonnées au bassin d'entreposage de la station ont été chaulées à des doses de 100, 300 et 500 kg de CaO/t.m.s. La chaux hydratée a été ajoutée aux boues liquides sous forme de lait de chaux. Le mélange a été effectué dans des béchers de 1 litre.

Les doses ont été établies à partir de la mesure des matières en suspension (MES). Les doses réelles ont ensuite été calculées à partir de l'analyse des matières sèches totales (MST).

Contrairement aux informations obtenues, les boues liquides chaulées n'avaient aucunement tendance à sédimenter rapidement au fond des béchers. Les matières solides sont demeurées en suspension et la sedimentation ne s'effectuait que très lentement.

L'apparence et la consistance des boues liquides chaulées permettait de croire qu'il n'y aurait pas sédimentation au fond du réservoir du camion, pas plus que colmatage de la toile du filtre à bande.

A titre d'indication, le pH a été mesuré à plusieurs reprises dans les boues chaulées, les résultats sont présentés au tableau 1.

Les béchers ont été laissés à la température de la pièce entre les différentes mesures de pH.

Nous devons cependant être prudent à l'examen de ces chiffres; le pH-mètre utilisé n'ayant pas été calibré pour mesurer des pH aussi élevés.

TABLEAU 1: CARACTERISTIQUES DES BOUES UTILISEES

pH initial : 6.40
température : 15°C
MES : 3.33%
MST : 2.95%
MVS : 80.18%
MVT : 78.34%

Doses réelles ajoutées:

Dose A : 112 kg CaO/t.m.s.
Dose B : 336 kg CaO/t.m.s.
Dose C : 559 kg CaO/t.m.s.

Evaluation du pH dans les béchers

| | DOSE | | |
|---|---|---|---|
| | A | B | C |
| Boues liquides non chaulées | 6.40 | 6.40 | 6.40 |
| Après ajout de la chaux | 12.72 | 12.84 | 12.87 |
| + 18 heures | 12.32 | 12.38 | 12.33 |
| + 48 heures | 12.25 | 12.66 | 12.42 |
| + 72 heures * | 11.42 | 11.81 | 11.80 |

* ici le pH-mètre a dû être recalibré, les mesures fluctuant sans cesse !

# ANNEXE D

## ESSAIS DE DOSAGE EN POLYMERE

## ESSAIS DE DOSAGE EN POLYMERE

La dose de Percol 757 (polymère utilisée) a été gardée constante tout au long de l'expérience; cependant, il y a lieu de croire que l'ajout de chaux hydratée aux boues, en agissant comme conditionnant pourrait permettre de diminuer la quantité de polymère nécessaire tout en maintenant ou augmentant l'efficacité de la déshydratation.

Quelques essais ont été effectués avec les boues liquides Cond 500, en faisant varier la quantité de Percol 757 ajoutée aux boues à l'entrée du floculateur. Ces essais n'ont pas été menés dans des conditions expérimentales strictes et doivent ainsi être considérées avec prudence; cependant, ils fournissent certaines indications dignes d'intérêt.

Le tableau 1 présente les résultats obtenus dans cet essai.

TABLEAU 1: ESSAIS DE VARIATION DES DOSES DE PERCOL 757 LORS DE LA DESHYDRATATION DE BOUES CHAULEES COND 500

| Dose réelle de Percol 757[2] (kg/t.m.s.) | T.S.C.[1] (sec.) | Floc | Ecoulement gravitaire |
|---|---|---|---|
| 9.55 | 13.8 | Bon | Moyen à bon |
| 9.06 | 11.1 | Bon | Bon |
| 8.33 | 9.9 | Très bon | Excellent |
| 7.35 | 14.6 | Bon | Très bon |
| 6.61 | 14.8 | Bon | Très bon |

Les boues déshydratées produites avec un dosage de Percol 757 de 6.61 kg/t.m.s. ont un taux de m.s.t. de 22.5%. On obtenait un taux de M.S.T. égal à 19.65% avec une dose de 10.48 kg/t.m.s.

Selon l'évaluation du technicien; même si on n'a pas déterminé la dose optimale de Percol à ajouter, il semble que l'ajout de chaux peut amener une économie de 25 à 35% sur la quantité de polymère nécessaire. Et cela devrait même permettre d'augmenter le taux de matière sèche des boues déshydratées.

---

[1]Test de succion capillaire de Komline Sanderson; une diminution de temps signifie un meilleur conditionnement des boues pour la déshydratation.

[2]Sans tenir compte de la chaux ajoutée, boue à 3.4% de matière sèche.

Un essai de déshydratation a été réalisé en éliminant l'adjonction des polymères. L'addition des polymères a été interrompue pendant la déshydratation de la boue chaulée à 500 kg. CaO/t.m.s. Il n'y a alors aucune formation de flocs ou d'agrégats et il est pratiquement impossible d'obtenir une séparation des phases solide et liquide sur le filtre à bande. La chaux utilisée seule en conditionnement ne donne pas des résultats satisfaisants avec ce type de filtre.

# ANNEXE E

## RAPPORT D'ETUDE SUPPLEMENTAIRE
## SUR L'ANALYSE DU PHOSPHORE

Objet: **Analyse du phosphore dans les boues chaulées**

Suite aux résultats obtenus pour la série d'échantillons analysés, il est à noter que les résultats de phosphore obtenus pour les boues chaulées sont plus faibles que ceux qui ont été déterminés pour la boue non chaulée. La procédure analytique employée a donc été vérifiée.

**Procédure analytique**

1 gramme d'échantillon humide a été digéré à l'aide d'acide nitrique (20 ml) suivie par 10 ml d'acide perchlorique. Par la suite le pH est réajusté à l'aide d'hydroxide de sodium jusqu'au virage de la phénolphtaléine (ph = 8). L'échantillon est par la suite filtré afin d'éliminer les résidus formé lors de l'ajustement du pH. La coloration a été effectuée à l'aide du molybdate d'ammonium et du chlorure stanneux. L'absorbance du complexe se lit à 690 nm.

**Analyse des boues chaulées**

La littérature indique que le phosphate de calcium est insoluble en milieux neutre et alcalin mais qu'il est soluble en milieu acide. D'après la méthode, il est necessaire d'ajuster le pH pour développer la couleur. Compte tenu de la nature de l'échantillon, la présence de précipité formé à pH 8 est importante. Ces résidus sont composés d'hydroxides de fer,de calcium ( partiellement soluble) et d'autres métaux ainsi que du phosphate de calcium et possiblement d'autres phosphates insolubles. Une filtration est donc nécessaire pour éliminer ses solides en suspension avant de procéder à la coloration. Le phosphore se retrouve donc dans le précipité. Ceci peut être vérifier d'une manière expérimentale, nous avons donc procédé à des analyses en laboratoire.

**Résultats**

| Traitement de l'échantillon | Conc total avec ajout (mg P /Kg matière séche) | Conc corrigé ajout soustrait |
|---|---|---|
| #1 Ech. 15C(500) avec filtration et pH = 8 (**) | — | 25 |
| #2 Ech. 15C(500) + 300 ppm P avec filtration et pH = 8 | 1.5 | -298 |
| #3 Ech. 15C(500) sans filtration et pH = 8 (*) | — | 7330 |
| #4 Ech. 15c(500) + 300 ppm P sans filtration et pH = 8 (*) | 8952 | 8652 |
| #5 Ech. 6S boue non chaulée | — | 730 |

note

(*) Du bisulfite de sodium est ajouté pour éliminer l'interférence de fer

(**) L'échantillon 15C(500) correspond à des boues chaluées en conditionnement à 500kgCaO/t.m.s. (cond 500)

**Conclusion**

- Le résultat de l'expérience 1 par rapport à celui de 5 démontre que le phosphore précipite dans le cas des boues chaulées.
- Lors de l'expérience 2 on ne récupère pas l'ajout de phosphore.
- Si on ne filtre pas (exp #3 et #4) les résultats obtenues sont sensiblement plus élevés.
- A l'exp. #4 le résultat obtenu après ajout indique que le résultat est biaisé positivement.
- Le biais positif est probablement dû aux matières en suspension et/ou des composés qui réagissent avec les réactifs.
- Il est important de noter que le phosphore présent dans l'échantillon est insoluble au départ à cause du pH initial de ces boues. On ce doit aussi examiner sa biodisponibilité pour les plantes.

# ANNEXE F

## INFORMATIONS UTILES SUR LA CHAUX DE LA RAFFINERIE DE SUCRE DU QUEBEC

ANNEXE F

## Informations utiles sur la raffinerie de sucre de St-Hilaire

Certaines informations utiles ont pu être obtenues de la raffinerie de sucre de St-Hilaire. La chaux produite par la raffinerie était d'abord décantée dans un étang qui était vidé une fois par année pour être mis en tas. La composition de cette chaux était de l'ordre de 90% en chaux et 10% d'autres matières. Une fois que la chaux était mise en tas, le taux de matières sèches augmentait rapidement jusqu'à environ 70%. Il s'avère qu'à cette humidité, le matériel est très granuleux et se draine facilement. Cependant, à 60% de matières sèches, le matériel est beaucoup plus semblable à du beurre et plus difficile à manipuler au point que beaucoup avait de la difficulté à l'utiliser. Il n'était pas facilement utilisable ni épandable avec des épandeurs à chaux mais il l'était avec des épandeurs à fumier standards. Par contre, à 70% de matières sèches, des équipements beaucoup plus adéquats ont été utilisés, c'est-à-dire des épandeurs à chaux standards modifiés légèrement.

Le matériel semblait reprendre de l'eau lors des pluies mais après quelques jours seulement, il pouvait être redrainé et réatteindre son taux de matières sèches initial.

La majeure partie du matériel était distribuée à partir du 15 juillet puisque la majeure partie des utilisateurs voulait l'épandre après les récoltes de foin et de céréales.

La réceptivité de cette chaux était très grande mais il fallait quand même faire un peu de marketing pour la passer totalement. Les agriculteurs recherchaient d'abord les qualités de la chaux et appréciaient le fait qu'ils ajoutaient un peu de valeur fertilisante et de matières organiques. Le taux d'épandage se situait à environ 7 à 8 t/ha.

Les utilisateurs étaient d'abord les producteurs de betteraves eux-mêmes et ainsi environ une cinquantaine de producteurs prenaient régulièrement de la chaux. La majeure partie était épandue par contrat par la raffinerie de sucre qui mandatait une compagnie indépendante qui épandait la chaux à l'aide d'un épandeur à chaux modifié. Très peu d'agriculteurs utilisaient leur propre épandeur à fumier parce que le service était bien offert par la raffinerie. D'autre part, compte tenu de la grande quantité de chaux dans le matériel, les agriculteurs devaient mettre qu'une mince couche dans le fond de l'épandeur ou combler l'épandeur avec du fumier afin de ne pas mettre de doses trop fortes sur le terrain.

Le pH de la chaux variait de 7 à 8 et était composé d'environ 50% de chaux sous forme de carbonate et 50% sous forme hydratée. Ainsi, en terme d'effet, elle se comparait généralement très bien avec la pierre à chaux agricole standard.

Le transport était effectué par camion à gravier basculant standard. Lorsqu'entreposée au champ, à 60 ou 70% de matières sèches, aucun écoulement n'était noté autour de l'amoncellement.

Lors de la sortie du bassin de décantation, il fallait environ trois semaines de beau temps afin d'augmenter le taux de matières sèches à 70%. De plus, si le tas était mis en pointe, la réhumidification par la pluie était à peu près nulle étant donné que l'eau ruissellait sur les côtés du tas sans y pénétrer. A cet effet, la chaux pouvait être reprise même après les pluies de l'été. Il semblerait aussi qu'une grande quantité d'eau soit perdue par évaporation et non par essorage, puisqu'on observait la croissance de végétaux sur les tas.

La chaux était d'abord livrée chez le client par camion basculant puis reprise et épandue avec le camion spécialisé au moment opportun, soit pour l'agriculteur, soit pour l'entrepreneur.

Des problèmes se sont présentés lorsque des cailloux ou des morceaux de bois étaient présents parmi la chaux; de tels problèmes ont amené un rejet de la part de plusieurs agriculteurs. Si de tels problèmes n'avaient pas eu lieu, la Raffinerie de Sucre aurait pu livrer facilement deux à trois fois plus de chaux qu'elle n'en produisait, soit de 15,000 à 20,000 tonnes par an.

En fait, l'expérience de la raffinerie a été excellente et a démontré une grande réceptivité de la part des agriculteurs en autant qu'un certain programme de commercialisation soit présent et que le coût soit aussi relativement abordable. De ce fait, à ce moment-là, le prix chargé était de $7.00/tonne pour la chaux elle-même, le transport variait de $3.00 à $6.00/tonne et la reprise et l'épandage au champ étaient de l'ordre de $3.50/tonne, le tout n'étant pas subventionné lorsque situé à moins de 100 km de distance.

**Raffinerie de Sucre du Québec**

## CHAUX DE LA RAFFINERIE

ORIGINE: Dans l'usinage de la betterave sucrière, on utilise de la chaux calcinée pour en faire un lait de chaux nécessaire à la purification du jus sucré. Le lait de chaux et le gaz carbonique servent à précipiter les impuretés provenant de la betterave. À la filtration, nous récupérons donc du carbonate de calcium (chaux) chargé de substances (matière organique, minéraux ) qui étaient contenues dans le jus de diffusion.

---

ANALYSE SOMMAIRE DE LA CHAUX: (Base matière sèche)

| | | |
|---|---|---|
| Carbonate de calcium ($CaC0_3$) | : | 85% |
| Magnesium (Mg0) | : | 1 à 2% |
| Phosphore ($P_20_5$) | : | .5 à 1% |
| Matière organique | : | 5 à 6% |
| Pouvoir neutralisant | : | 85% |
| Particules inférieures à 100 mesh: (.149 m) | | 100% |
| Efficacité | : | 100% |
| Indice de valeur agricole | : | 63% |

Les éléments minéraux suivants sont également présents en quantités variables mais appréciables: K, Na, Fe, Mn, Zn et Cu. La chaux de la raffinerie contient environ 30% d'humidité, maximum garanti:3

---

QUANTITÉ À APPLIQUER:

Les quantités à appliquer sont les mêmes que la pierre à chaux des carrières.

DISPONIBILITÉ ET APPLICATION:

La chaux de la RSQ est disponible du mois de mai au mois de novembre à chaque année. Un service d'épandage est maintenant offert. Notre épandeur à chaux modifié permet une application rapide et uniforme.

AVANTAGES DE LA CHAUX DE LA RAFFINERIE:

Pour une même valeur neutralisante, cette chaux apporte au sol une quantité appréciable de matière organique et d'éléments minéraux.

100 rue de la Raffinerie, Mont-Saint-Hilaire, Quebec J3H 4G6 — (514) 467-3323 • Télex 05-25133

# ANNEXE G

# REVUE SUR LES EPANDEURS

ANNEXE G

# REVUE SUR LES EPANDEURS

Compte tenu du matériel observé, on peut supposer deux méthodes d'épandage des boues chaulées en agriculture. La première méthode pourrait être un épandage à forfait avec des entrepreneurs spécialisés et des équipements spécialisés, alors que la deuxième méthode, plus pratique et plus près du contexte agricole consisterait à ce que les boues soient livrées chez l'agriculteur et que ce dernier épande lui-même les boues sur ses terrains, au moment où il le croit le plus opportun. Dans la présente section, il est important d'établir la possibilité que l'épandage puisse être fait par l'agriculteur lui-même, avec ses propres équipements.

Si on considère les boues chaulées comme étant semblables à un fumier solide ou semi-solide (pâteux), divers types d'équipements peuvent être considérés. Il existe en fait trois genres d'épandeurs agricoles susceptibles d'être utilisés pour ce type de boues chaulées:

- un épandeur pour fumier solide avec batteurs arrières standards,

- un épandeur à fléau,

- un épandeur en forme de "V" avec éjection latérale.

Le premier est le plus utilisé sur les fermes encore aujourd'hui. Il s'agit d'une boîte et le fumier est entraîné par un mécanisme à chaînes au plancher (tablier), vers des batteurs situés à l'arrière de l'épandeur et qui déchiquettent et projettent le fumier au sol. Certaines marques ont des batteurs particuliers et des couteaux déchiqueteurs qui aident l'épandage par rapport aux batteurs américains. D'autres ont des tabliers hydrauliques plutôt que des chaînes.

Les épandeurs à fléaux consistent en une sorte de citerne avec un couvercle rétractable et des chaînes fixées à un axe central rotatif tournent à haute vitesse pour projeter le fumier à l'extérieur de l'épandeur. Ce type d'épandeur peut manipuler du fumier solide, pâteux ou semi-liquide.

Les épandeurs en forme de V sont un nouveau type d'épandeur apparu sur le marché depuis quelques années seulement. Il s'agit d'un réservoir en forme de "V" dans lequel une grosse vis sans fin amène le fumier vers un éjecteur situé sur le côté de l'épandeur. L'éjecteur est constitué d'un batteur très robuste à pales dentelées qui éjectent latéralement le fumier sur le terrain. Cet équipement est utilisable pour à peu près tous les types de fumier, sauf le fumier liquide. La dose d'épandage peut être contrôlée par une porte qui permet à plus ou moins de fumier de sortir de l'épandeur. Cependant, si le fumier est trop épais, celui-ci ne reviendra pas sur la vis intérieure et peut causer des problèmes ou des difficultés pour contrôler la dose d'épandage.

De façon générale, en ce qui concerne les fumiers solides, ces trois types d'épandeurs peuvent être utilisés. Pour ce qui est du fumier plus pâteux, l'épandeur standard peut être adapté avec une porte à l'arrière qui limite l'écoulement du fumier. Les deux autres épandeurs sont utilisables dans du fumier semi-liquide ou plus pâteux.

Compte tenu du type de matériel dont il est question dans le présent projet, nous croyons que ces trois types d'épandeurs pourraient être utilisés facilement pour épandre les boues chaulées. De ce fait, nous nous attarderons davantage sur l'épandeur à fumier standard puisqu'il est le plus utilisé en agriculture.

Une incertitude reste tout de même en suspend. Compte tenu du haut taux de chaux, l'abrasion des composantes et leur résistance au poids de la chaux peut diminuer la durabilité des épandeurs. Ceci reste à vérifier en pratique.

Limitations

En somme, si tous les épandeurs pourraient épandre les boues chaulées, il reste à connaître la qualité de l'épandage qui sera obtenue. On peut souligner dès le départ que la problématique reliée à l'épandage des boues en utilisant ces équipements sera la même que l'on rencontre pour le fumier. En effet, il y a épandage et il y a bon épandage.

Les points qu'il faut considérer lorsqu'on parle d'épandeurs consistent dans les caractéristiques suivantes: la vitesse d'avancement, la vitesse de vidange de l'épandeur, la largeur de travail, la grosseur des particules projetées hors de l'épandeur, le coefficient d'uniformité au sol (longitudinal et transversal), la grosseur des agrégats au sol, la dose de fumier à épandre, la robustesse de l'équipement et le type de fumier et l'uniformité d'approche aux batteurs.

Ce n'est pas le but du présent projet de faire une revue complète de chaque caractéristique de chaque épandeur. Certains renseignements peuvent être obtenus dans les références 5 et 6. Si l'on considère que chaque type d'épandeurs est de nature à pouvoir épandre les boues chaulées, les deux points majeurs qui se posent sont la capacité à épandre la dose voulue et l'uniformité de la dose sur le terrain. L'Annexe montre quelques profils d'épandage selon les trois types d'épandeurs considérés. Il va sans dire que ces profils peuvent varier selon la consistance du fumier, la vitesse de travail et d'autres caractéristiques trop longues à énumérer dans le présent rapport.

- Epandeur pour fumier solide: l'épandeur standard pour fumier solide donne généralement de bons résultats mais est souvent conçu pour appliquer de fortes doses de fumier. Cet épandeur répartit le fumier sur le sol en une dose maximale au centre et diminue

régulièrement jusqu'à environ 0.5 à 1 mètre de chaque côté de l'épandeur. Il faut donc chevaucher chaque largeur d'épandage afin d'obtenir une dose assez uniforme. La dose peut être variée en changeant certains engrenages et elle peut être assez basse. Certaines marques ont des couteaux déchiqueteurs qui conviennent à la grosseur des particules. D'autres ont des tabliers hydrauliques qui permettent des doses presque nulles.

- Epandeur à fléaux: cet épandeur épand une dose relativement uniforme sur une largeur d'environ 3 mètres. L'uniformité augmente proportionnellement au taux de matière sèche du fumier; elle est d'environ 66% comparativement à moins de 56% dans le cas des épandeurs standards. La dose d'épandage est génerlament moyenne et peu variée.

- Epandeur en forme de "V": ce type d'épandeur semble très bien adapté à tous les types de fumier mais l'ajustement de la dose est en fonction de la consistance du fumier dans l'épandeur, puisque la vis intérieure fonctionne à un rythme régulier alors que la sortie du fumier peut être ajustée. Pour ne pas forcer inutilement cette vis, il faut que le fumier sous forme solide sorte rapidement de l'épandeur. Plus le fumier est solide plus la dose doit être grande. Dans le cas de fumier plus pâteux, ce dernier aura alors tendance à revenir sur la vis, ce qui force moins cette dernière et permettra un meilleur contrôle de la dose d'épandage qui peut être faible. Le coefficient d'uniformité est d'environ 70%.

Dose d'épandage

La majorité des épandeurs à fumier solide sont conçus pour manipuler du fumier de vaches laitières sous forme solide et de façon à épandre des doses plus ou moins normales sur les fermes. La dose d'épandage généralement considérée peut varier de 20 à 60 tonnes de fumier à l'hectare. Cependant, la moyenne se situe aux alentours de 50 à 60 tonnes/ha. Ainsi, la majorité de ces épandeurs ne sont pas conçus pour épandre de très faibles doses. Ils sont principalement conçus pour manipuler de grosses masses de fumier en doses importantes. A titre d'exemple, une dose d'environ 61 t/ha est nécessaire pour satisfaire environ 50% des besoins azotés d'une culture de maïs sur un sol sableux, lors d'une application printanière. Dans un autre exemple, une dose de 18 t/ha correspond à 50% des besoins fertilisants d'une culture de foin à base de graminées lors d'une application après une première coupe de foin. Les épandeurs sont généralement conçus pour le premier exemple. En annexe, on peut voir que certains essais ont permis d'épandre entre 18 et 88 t/ha.

Dans le cas d'une boue pâteuse, on peut supposer que l'épandeur en "V" pourra permettre une dose d'épandage encore plus faible étant donné que la porte d'ouverture est ajustable. L'épandeur à fléau est moins flexible puisque la seule variation dans la dose consiste à faire varier la vitesse du tracteur. Nous nous attarderons davantage sur la capacité d'épandage des épandeurs à fumier standards (conventionnels avec batteurs et tabliers à chaînes).

Mentionnons ici les caractéristiques principales pouvant influencer la dose d'épandage d'un épandeur à fumier standard.

La vitesse d'avancement de l'épandeur peut varier généralement de 4 à 10 km/h. La plupart des épandeurs sont munis de deux vitesses d'avancement pour le tablier d'entraînement du fumier. Cependant, des engre-

nages peuvent être remplacés pour faire diminuer cette vitesse et si une vitesse d'épandage encore plus lente est nécessaire, l'agriculteur pourra faire fabriquer d'autres mécanismes de réduction de la vitesse du tablier. Cependant, il semble que la vitesse normale d'avancement du tablier soit d'environ 1.3 m/min et peut être réduite en changeant de mécanisme à une vitesse même plus basse que 0.8 m/min. En considérant une longueur d'épandeur de 3.2 à 4.6 m, ceci correspond selon les différentes marques d'épandeurs à des temps de déchargement de 2.5 à 5.75 minutes. De façon globale, on pourrait supposer que les épandeurs standards se vident entre 2.5 et 3.5 minutes et qu'en changeant de mécanisme, on pourrait augmenter ce temps entre 4 et 6 minutes.

La largeur d'épandage se situe à environ deux fois la largeur de la boîte de l'épandeur. Etant donné que la largeur moyenne varie de 1.5 à 1.8 m, la largeur d'épandage sera de l'ordre de 3.0 à 3.6 m de largeur.

Une autre façon de varier le volume épandu et utilisé dans certains cas, consiste à diminuer la quantité de fumier dans l'épandeur. En effet, si l'épandeur est rempli seulement à 50% de sa capacité, la dose ainsi épandue, compte tenu des vitesses de déchargement, sera d'autant plus faible. Cependant, cette pratique devrait être évitée puisqu'elle affectera l'efficacité à l'épandage et risque de décourager certains utilisateurs par le nombre de voyages devant être effectués, de même qu'affecter l'uniformité d'épandage.

Enfin, certaines compagnies fabriquent des épandeurs à fumier avec batteurs arrières, mais utilisent un mécanisme hydraulique plutôt qu'un tablier à chaîne pour faire avancer le fumier dans l'épandeur. Ainsi, si on prend l'exemple de l'épandeur John Deere, la vitesse d'avancement du tablier peut varier de 0 à 4.6 m/min. Ceci correspond à un temps de déchargement partant de l'infini jusqu'à une minute par épandeur. De cette façon, les épandeurs à action hydraulique pourraient être utilisés si des doses minimes doivent être appliquées sur les champs.

Voici deux exemples qui illustrent l'apport de deux doses extrêmes avec un épandeur conventionnel:

Exemple normal:

| | |
|---|---|
| . Vitesse: | 6 km/h |
| . Capacité: | 9 tonnes métriques |
| . Temps de vidange: | 2.5 minutes |
| . Largeur d'épandage: | 3 m |
| . Résultat: | 120 t/ha |

Exemple à plus faible dose:

| | |
|---|---|
| . Vitesse d'avancement: | 8.5 km/h |
| . Capacité: | 4.5 tonnes lorsque chargé à 50% |
| . Temps de vidange: | 6 minutes |
| . Largeur d'épandage: | 3.6 m |
| . Résultat: | 14.7 t/ha. |

Le deuxième exemple apporte des conditions limites et c'est à ce point que l'épandeur à vidange hydraulique sera probablement rendu nécessaire pour encore permettre une certaine efficacité au champ. L'agriculteur pourrait par contre finir de remplir son épandeur avec du fumier, si le cas s'applique (fertilisation).

Les tableaux G-1 et G-2 ont été préparés afin de connaître le taux d'épandage nécessaire pour combler divers besoins des plantes en diverses situations. On note en fait que parmi tous ces calculs, la dose minimale à épandre est contrôlée par l'ajout de la chaux ainsi que par les besoins de l'orge en azote. Les conversions en matériel à épandre sur la base humide montrent que les doses minimales se situent dans l'ordre de 30 t/ha. Dans ce projet, le phosphore et le potassium ne sont pas limitatifs quant aux doses à épandre. En conclusion, et compte tenu des commentaires sur les épandeurs, il devrait être possible d'épandre les doses requises avec les équipements sur les fermes si on vise à combler 100% des besoins en chaux et 100% des be-

soins en azote pour une culture très peu exigeante telle que l'orge. En ce qui concerne le maïs, la majorité des doses se situe à plus de 70 t/ha, ce qui se rapproche et même surpasse les doses de fumier solide normales.

A partir de ces données, on peut faire plusieurs suppositions. Par exemple, si on devait n'épandre que 50% des doses requises, ceci nous ramènerait à 15 t/ha et tel que nous l'avons vu précédemment, une telle dose peut être épandue même avec des épandeurs à fumier standard en autant qu'on prenne des dispositions très particulières. Ainsi, on pourra ne mettre que 50% de la dose en azote pour l'orge. En fournissant 50% des besoins en azote du maïs, on se retrouve même avec 30 t/ha, ce qui est jugé très épandable dans ces conditions-ci.

Il a été noté dans le projet que le phosphore est jugé nettement inférieur à ce qu'il a été remarqué dans la majorité des autres types de boues de la province. En appliquant une valeur moyenne à la dose de phosphore nécessitée par les plantes, les besoins en épandage pourraient s'abaisser jusqu'à une valeur de 8 t/ha. Ceci complique sérieusement le choix de l'épandeur et peut ainsi nécessiter des équipements plus spécialisés tels que l'épandeur hydraulique de la compagnie John Deere. Cependant, il ne semble pas impossible d'épandre un telle dose avec les équipements disponibles sur le marché, sauf que ces équipements ou certains engrenages ne seront pas disponibles chez tous les agriculteurs.

D'autre part, il a été suggéré précédemment que les boues devraient normalement contenir un taux de matières sèches de l'ordre de 30%. Avec les valeurs des tableaux G-1 et G-2, on s'aperçoit que la conversion à une masse à 30% de matières sèches donne des valeurs minimales lorsque 100% des besoins d'azote pour l'orge sont comblés, ce qui correspond à 20 t/ha de matière à 30%.

Dans le cas du maïs, déjà les besoins augmentent à 45-50 t/ha et ils se situent à 26 t/ha pour combler les besoins en chaux de la majorité des sols. Ainsi, on peut voir que même avec des boues assez déshydratées, si on tend à combler 100% des besoins des plantes, une dose d'épandage minimale de 15 à 20 t/ha sera tout de même nécessaire; il est donc possible de l'épandre par des équipements disponibles sur le marché, du moins certains d'entre eux.

La seule limitation possible pouvant causer de graves problèmes d'équipements serait lorsque la dose d'épandage serait basée sur le phosphore et que ce dernier serait en quantité importante dans les boues. Dans certains cas, la dose d'épandage pourrait descendre jusqu'à 4 t/ha rendant ainsi problématique l'épandage. Cependant, il n'est pas impossible d'épandre une telle faible dose mais l'efficacité et le temps nécessaire à l'épandage seraient grandement affectés principalement si l'on considère la possibilité de mettre une couche mince dans le fond de l'épandeur. A l'heure actuelle par contre, les limites d'épandage sont majoritairement basées sur la chaux et l'azote à fournir aux plantes.

D'autre part, les présents calculs tiennent compte d'une densité de boue de de 1 $t/m^3$, telle qu'elle a été obtenue dans ce projet. Plus le taux de matières sèches sera élevé et plus la densité baissera jusque vers 750 $kg/m^3$. Si l'épandage est basé sur le poids, ceci aura pour résultat d'aider l'épandage en augmentant les quantités.

La pire problématique qui puisse être envisagée par l'utilisation des épandeurs agricoles sera reliée à l'uniformité de la dose épandue et à la grosseur des agrégats. En effet, même avec les fumiers d'animaux, la limite des épandeurs est souvent reliée à l'uniformité de distribution au sol et il sera encore plus important d'étudier cet aspect si l'on considère épandre des doses uniformes de chaux et de boues contenant plusieurs oligo-éléments et métaux lourds. Il ne faut

pas oublier que plus les doses sont faibles et plus l'épandage risquera d'être irrégulier. En effet, les boues peuvent avoir tendance à arriver par paquets et nuire à l'uniformité longitudinale. Certains épandeurs possèdent des couteaux déchiqueteurs qui améliorent l'uniformité et diminuent la grosseur des particules. Des recherches supplémentaires peuvent être faites afin de trouver les meilleurs équipements nécessaires mais aussi pour mieux répartir la dose au sol.

Les manufacturiers européens se sont attardés à certains de ces aspects et ont développé certains épandeurs pouvant épandre des doses de boues d'épuration en très faible quantité tout en améliorant l'uniformité au sol. Lors de recherches sur les épandeurs, il pourrait être intéressant d'étudier la nécessité de vérifier ces épandeurs et de voir s'ils améliorent de façon générale les caractéristiques à l'épandage.

Enfin, des boues plus pâteuses ou semi-solides sont également épandables avec certains équipements ou avec l'ajout de pièces spécifiques sur des épandeurs de ferme conventionnelle.

En résumé, la majorité des doses à appliquer selon divers scénarios ne semblent pas limiter l'utilisation des épandeurs actuellement disponibles sur le marché. Au pire, avec certaines doses faibles, certains épandeurs, pièces et méthodologies plus spécialisés seront nécessités et réduiront le potentiel d'épandage par les agriculteurs, mais des entrepreneurs indépendants pourront faire ce travail. L'achat d'épandeurs spéciaux par la station ou par plusieurs agriculteurs est une alternative.

TABLEAU G-1: VALEUR FERTILISANTE ET VALEUR EN AMENDEMENT CALCAIRE DES BOUES: QUANTITES NECESSAIRES, EN TONNES A L'HECTARE (TAUX DE MATIERE SECHE REEL), POUR COMBLER LES BESOINS INDIQUES.

| Type de boues | MST | CaCO3 théorique | CaCO3 analyse | Maïs | | | Orge | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | IVA:100 | IVA:100 | N | P2O5 | K2O | N | P2O5 | K2O |
| Besoins (kg/ha) | | 4000 | 4000 | 165 | 90 | 110 | 70 | 50 | 55 |
| BDNC | 14.7 % | ---- | 74.9 | 53.0 | 523.3 | 118.8 | 22.4 | 290.7 | 59.4 |
| COND 300 | 16.9 % | 62.5 | 28.2 | 85.1 | 893.6 | 108.5 | 36.1 | 496.4 | 54.3 |
| COND 500 | 20.9 % | 36.2 | 46.0 | 77.6 | 839.4 | 219.3 | 32.9 | 466.4 | 109.7 |
| STAB 300 | 19.2 % | 56.2 | 52.4 | 72.0 | 1082.6 | 127.3 | 30.5 | 601.4 | 63.6 |
| STAB 500 | 24.6 % | 31.7 | 19.7 | 67.3 | 373.7 | 111.8 | 28.5 | 207.6 | 55.9 |

TABLEAU G-2: VALEUR FERTILISANTE ET VALEUR EN AMENDEMENT CALCAIRE DES BOUES: QUANTITES NECESSAIRES, EN TONNES A L'HECTARE (m.s.t. = 30%), POUR COMBLER LES BESOINS INDIQUES.

| Type de boues | MST | CaCO3 théorique | CaCO3 analyse | Maïs | | | Orge | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | IVA:100 | IVA:100 | N | P2O5 | K2O | N | P2O5 | K2O |
| Besoins (kg/ha) | | 4000 | 4000 | 165 | 90 | 110 | 70 | 50 | 55 |
| BDNC | 30 % | 0.0 | 36.7 | 26.0 | 256.4 | 58.2 | 11.0 | 142.5 | 29.1 |
| COND 300 | 30 % | 35.2 | 15.9 | 48.0 | 503.4 | 61.1 | 20.3 | 279.6 | 30.6 |
| COND 500 | 30 % | 25.2 | 32.0 | 54.1 | 584.8 | 152.8 | 22.9 | 324.9 | 76.4 |
| STAB 300 | 30 % | 36.0 | 33.6 | 46.1 | 692.8 | 81.5 | 19.5 | 384.9 | 40.7 |
| STAB 500 | 30 % | 26.0 | 16.2 | 55.2 | 306.4 | 91.7 | 23.4 | 170.2 | 45.8 |

## SUPPLEMENT A L'ANNEXE G

### INFORMATIONS SUR LES EPANDEURS A FUMIERS

SOURCE: Evaluation des épandeurs commerciaux pour fumier semi-liquide. Rapport de recherche

## 3.2 Uniformité d'épandage

### 3.2.1 Uniformité transversale au déplacement

Pour chaque rangée de toile placée transversalement au déplacement de l'épandeur, des moyennes de distribution ont été établies en divisant le poids recueilli sur chaque toile par le poids total de fumier recueilli sur toute la rangée. Les courbes de distribution présentées en annexe représentent la moyenne de ces courbes pour un type de fumier donné et ce pour chaque épandeur. Compte tenu que la dose d'application pouvait varier d'un essai à l'autre et étant donné les variations de vitesses d'avancement, de révolution du moteur et d'autres facteurs, les résultats sont présentés en terme de pourcentage. Les épandeurs New Holland et IDEAL ont été testés dans les fumiers liquides; cependant, les résultats ne peuvent être utilisés car non représentatifs, le liquide s'éclaboussant sur les toiles.

A partir de ces courbes, le degré d'uniformité de distribution transversale peut être exprimé à l'aide du coefficient d'uniformité brute d'application (Cubt). Ce dernier communément utilisé en irrigation se définit comme suit:

$$Cubt = (1 - \frac{AQ}{Q}) \times 100$$

AQ = Moyenne des valeurs absolues des déviations de taux d'application mesurés par rapport au taux moyen d'application

Q = Moyenne des taux d'application mesurés.

à partir des profils transversaux d'épandage (Annexe A) et choisissant un écart égal à 10% de la largeur brute d'épandage, le coefficient d'uniformité a été calculé pour chaque type d'épandeur en fonction du type de fumier épandu. Les résultats sont présentés

au Tableau 1 ci-après. Plus le taux se rapproche de 100%, plus l'uniformité d'épandage est bonne. Pour l'épandeur IDEAL, deux coefficients d'uniformité ont été établis soit un à partir de la largeur totale et un autre en considérant uniquement la section où l'on retrouve la plus grande concentration de fumier. C'est cette dernière qui sera considérée dans les discussions et calculs ultérieurs.

TABLEAU 1: COEFFICIENT D'UNIFORMITE BRUT
SECTION TRANSVERSALE AU DEPLACEMENT

| Epandeur | Type de fumier | | |
|---|---|---|---|
| | Solide | Pâteux | Liquide |
| CEMA | 56,2 | ---- | ---- |
| MULTI-ACTION | 36,6 | 42,9 | 49,3 |
| NEW-HOLLAND | 66,4 | 38,6 | ---- |
| IDEAL (largeur totale) | 5,0 | 2,0 | ---- |
| IDEAL (partie concentrée) | 70,0 | 67,0 | ---- |
| BADGER | ---- | 58,1 | ---- |

### 3.2.3 Discussions

A l'analyse des résultats et suivant les observations faites au terrain, il est possible de discerner les caractéristiques d'épandage de chaque épandeur.

- Cema

Cet épandeur représente le type d'épandeur conventionnel. La largeur d'épandage correspond à ± la largeur de l'épandeur, soit 2,4m et ce autant pour le fumier solide que pâteux. La dose d'application varie de façon régulière du bord jusqu'au centre ce qui permet un chevauchement précis.

Les batteurs déchiqueteurs en forme de vis sans fin surmontés de petits couteaux font un très bon travail de déchiquetage contrairement aux batteurs de type américain qui sont larges et à grand diamètre; ils sont de plus faciles à opérer et donnent une distribution régulière sans vide apparent. Suivant les mesures, nous nous rendons compte que cette distribution n'est cependant pas uniforme. Les batteurs droits sous le niveau du tablier complètent bien le travail de déchiquetage et empêchent les amas de fumier de tomber directement au sol de façon concentrée.

- Multi-Action

La courbe de distribution est semblable à celle de Cema, ce qui se comprend puisque le système de batteurs s'apparente. La largeur d'épandage augmente en fonction du type de fumier. Plus le fumier est solide et épais, plus la largeur d'épandage sera grande. Le coefficient d'uniformité demeure cependant dans le même ordre peu importe le type de fumier. Il n'en est pas de même dans le sens longitudinal où les variations sont saccadées compte tenu que le fumier arrive par paquets, étant donné qu'il doit d'abord monter par-dessus le rebord avant d'être projeté par les batteurs. Le fumier arrive par paquets plus ou moins importants, la chaîne du tablier montant presque à la verticale.

- New Holland

La largeur d'épandage est d'environ 3 m pour tout type de fumier, cependant le coefficient d'uniformité augmente proportionnellement au taux de matière sèche du fumier. Plus le fumier est solide, mieux il sera réparti. Pour le fumier solide, la dose maximale se retrouve près de l'épandeur et va ensuite en décroissant mais de façon non régulière. Le chevauchement idéal consisterait à faire un retour en sens opposé. L'uniformité serait ainsi obtenue par groupe de deux passages.

- Idéal

Le profil d'épandage de l'épandeur Idéal s'étend sur une largeur de 10 à 12 m, cependant, le profil réel se concentre sur une largeur de 5 à 7 m. Le cône de concentration a tendance à s'éloigner et à s'élargir en fonction du type de fumier. Plus le fu-

mier est liquide plus il sera projeté loin de l'épandeur et plus il se répartit sur une largeur importante.

Dépendant du type de fumier, de la puissance disponible et autres facteurs (ex: terrain) la distance d'éjection est variable, autrement dit, il est difficile de juxtaposer les bandes de fumier qui serpentent le long du parcours.

Dans les fumiers très fibreux, il faut laisser l'ouverture complètement ouverte tandis que dans les fumiers pâteux fluides, il y a avantage à contrôler l'ouverture sinon la dose sera trop généreuse. Durant les essais la porte était complètement ouverte.

Le coefficient d'uniformité vis-à-vis le cone de concentration est très élevé. Il s'agit en fait de la meilleure application, par contre, si l'on considère l'uniformité sur la largeur totale, elle est très faible. On peut retenir que le profil permet de faire de bons croisements latéraux, cependant, il ne faut pas oublier le fait qu'il serpente, ce qui viendra affecter sensiblement l'uniformité globale.

Dans les fumiers solides c'est l'épandeur Cema qui applique les plus grosses doses, tandis que dans le fumier pâteux c'est l'épandeur Idéal qui applique la plus grosse dose unitaire.

TABLEAU 2 TAUX D'APPLICATION

tel que recueilli sur les toiles (T/ha)*

| EPANDEUR | SOLIDE | | FUMIER PATEUX | | LIQUIDE | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10% | 50% | 10% | 50% | 10% | 50% |
| CEMA | 118 | 88 | -- | -- | -- | -- |
| MULTI-ACTION | 23 | 33** | 12 | 8 | 33 ** | 23 ** |
| NEW-HOLLAND | 25 | 18 | 27 | 28 | -- | -- |
| IDEAL | -- | -- | 41 | 38 | -- | -- |
| BADGER | -- | -- | 13 | 11 | -- | -- |

* Il s'agit de dose d'épandage moyenne recueillie à 10% et 50% du parcours et réajustée pour une vitesse commune de 5 km/hre.

** Les collecteurs se sont probablement adonnés vis-à-vis un point fort ou faible (distribution saccadée)

## 7.1 Epandeur pour fumier solide

L'épandeur pour fumier solide est le plus connu, c'est l'épandeur conventionnel que la majorité des producteurs de lait utilisent encore (voir Figure 12). Il est composé d'une boîte équipée d'un mécanisme à chaînes ou à poussoir pour amener le fumier dans des batteurs qui le déchiquettent et le projettent sur le sol. Les manufacturiers ont conçu des équipements permettant d'épandre du fumier semi-liquide avec ces épandeurs. C'est ainsi qu'on peut acheter une porte hydraulique pour empêcher le fumier de s'écouler et une cuve qui s'installe sous les batteurs pour faire un meilleur épandage.

L'épandage du fumier semi-liquide avec ce type d'épandeur requiert cependant une certaine dextérité de la part de l'opérateur pour assurer un épandage uniforme surtout au début de chaque voyage. En autant qu'on souhaite appliquer de fortes doses, ce type d'épandeur s'avère très efficace du point de vue technique et énergétique. Tel que

montré à la Figure 19, ce type d'épandeur répartit le fumier sur le sol en un dose maximale au centre de l'épandeur qui diminue régulièrement jusqu'à environ un mètre de chaque côté de l'épandeur. Un chevauchement des largeurs d'épandage permet d'épandre une dose assez uniforme sur le sol. Il ne convient pas pour le fumier liquide car le plancher et la porte sont rarement étanches et le fumier éclabousse par-dessus les côtés.

## 7.3 Epandeurs pour fumier semi-liquide

Plusieurs types d'épandeurs ont été conçus pour épandre le fumier semi-liquide; nous allons passer en revue les avantages et inconvénients des principaux modèles disponibles.

### 7.31 Epandeurs à fléaux

Ce type d'épandeur existe depuis longtemps, il est facile à reconnaître avec sa cuve semi-circulaire et sa partie supérieure qui s'ouvre pour permettre le chargement (voir Figure 15). Son principe d'opération est très simple; des chaînes fixées à un axe central rotatif tournant à haute vitesse projettent le fumier à l'extérieur de l'épandeur. Cet épandeur peut manutentionner tous les types de fumier de liquide à solide. Il est bien adapté pour manutentionner le fumier semi-liquide. Il épand une dose relativement uniforme sur une largeur d'environ 3 mètres. L'uniformité augmente proportionnellement au taux de matière sèche du fumier. Les besoins de puissance à la prise de force sont élevés et assez constants du début à la fin du parcours. Les coûts d'entretien sont également élevés et ces épandeurs ne sont pas disponibles pour des grosses capacités.

### 7.32 Epandeurs en forme de "V"

Un nouveau type d'épandeur est apparu sur le marché depuis quelques années. Il s'agit des épandeurs avec réservoir en forme de "V" au fond duquel se trouve une grosse vis sans fin qui amène le fumier vers un éjecteur situé sur le côté ou au bout de l'épandeur (voir Figure 16). Certains modèles ont une forme plus évasée et sont dotés de deux vis sans fin dans le fond du réservoir. L'éjecteur consiste en un cylindre rotatif auquel sont fixées des pales dentelées. Une porte hydraulique située juste devant l'éjecteur permet de fermer le

réservoir; l'ajustement de l'ouverture de la porte permet de contrôler la dose d'épandage. Un couvercle relevable peut être installé au-dessus du réservoir sur certains modèles. Dans le cas d'un chargement liquide, le fumier peut être introduit par une petite ouverture dans le couvercle.

Ce type d'épandeur a été conçu pour le fumier semi-liquide. Il peut aussi manutentionner le fumier solide ou liquide. Le profil épandage s'étend sur une largeur de 10 à 12 m avec une concentration du fumier dans les derniers 5 à 7 m. La distance d'éjection est variable et il est difficile de juxtaposer les bandes d'épandage qui serpentent le long du parcours. Dans les fumiers très fibreux, il faut laisser la porte complètement ouverte tandis que dans les fumiers liquides, il faut contrôler l'ouverture sinon la dose sera trop généreuse. Cet épandeur est très exigeant en puissance; dans le fumier solide fibreux, il exige jusqu'à 93 kW alors que dans le fumier liquide, la puissance nécessaire est réduite de moitié.

Cet épandeur est disponible en modèles de moyenne et grande capacité. Son coût à l'achat est assez élevé et son entretien risque d'être dispendieux. Cependant, il constitue une bonne solution pour épandre le fumier de bovins entreposé sur une plate-forme avec murets étanches puisqu'avec un seul épandeur, le propriétaire peut épandre les liquides pompés et le fumier pâteux restant.

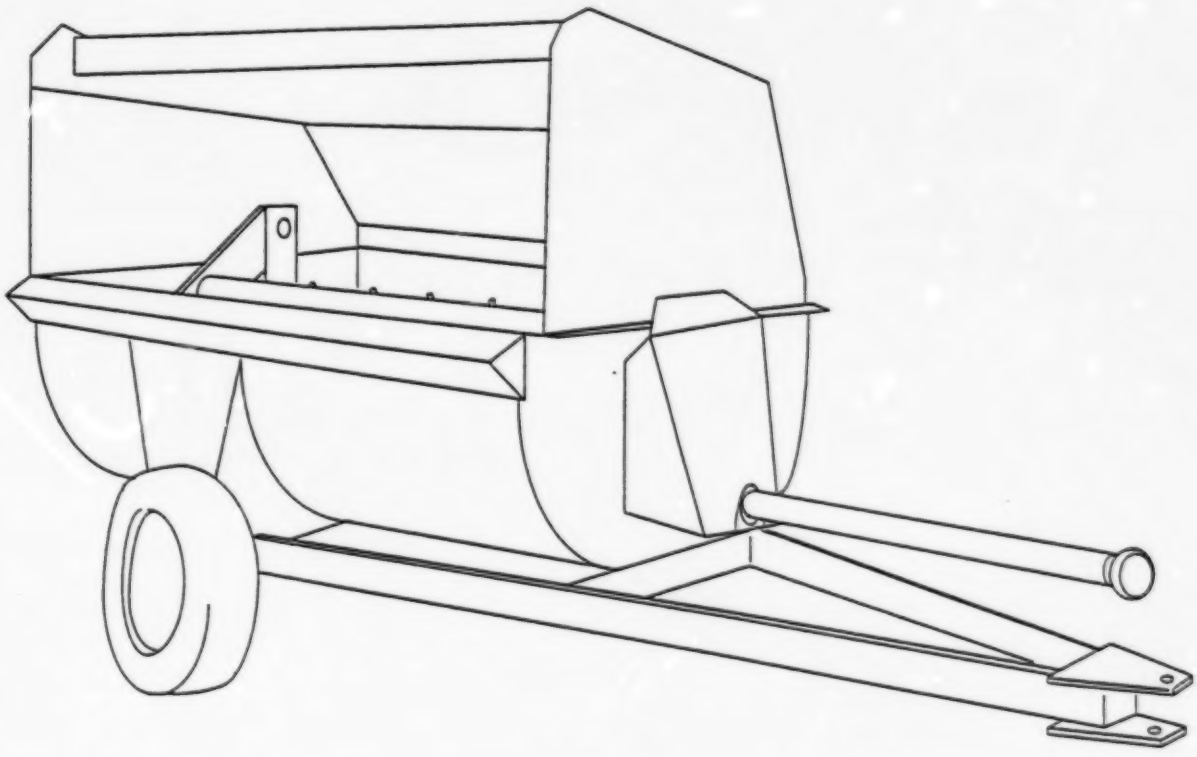


Figure 15:Epandeur à fléaux

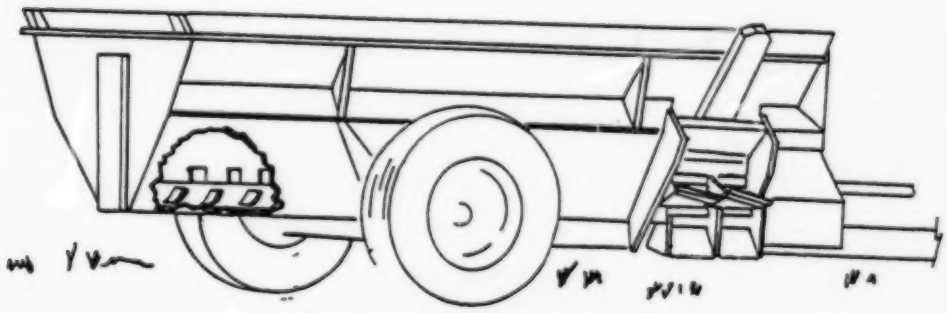
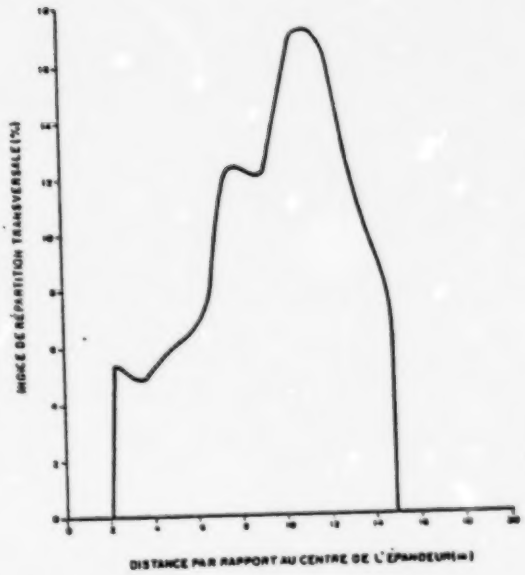
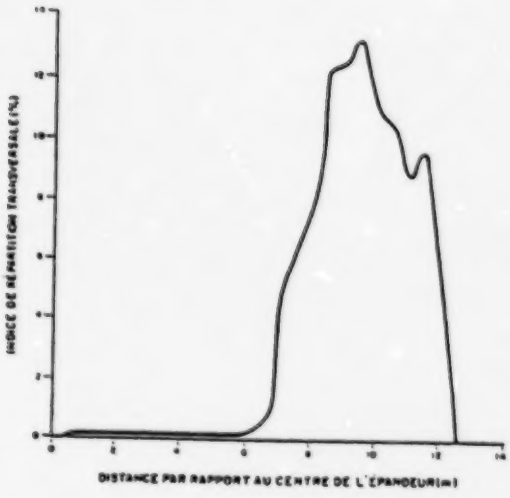


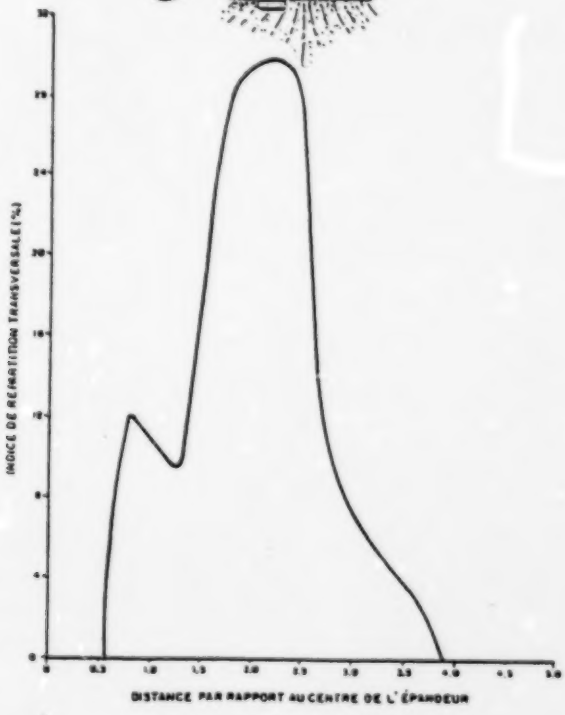
Figure 16:Epandeur en forme de "V"



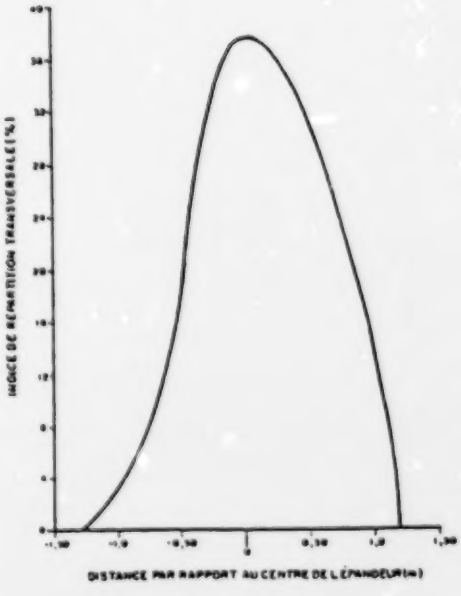

PROFIL TRANSVERSAL D'ÉPANDAGE




PROFIL TRANSVERSAL D'ÉPANDAGE




PROFIL TRANSVERSAL D'ÉPANDAGE




PROFIL TRANSVERSAL D'ÉPANDAGE

Figure 17: Profils d'épandage du fumier pâteux
en fonction de l'épandeur

Ministère de
l'Environnement